

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

BERNARDO SCHMITZ DOS SANTOS

**ESTUDO DE UM PROTÓTIPO PARA CONTROLE E MONITORAMENTO EM UMA
ESTUFA DE HORTALIÇAS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS E O
MICROCONTROLADOR ESP8266**

CRICIÚMA

2020

BERNARDO SCHMITZ DOS SANTOS

**ESTUDO DE UM PROTÓTIPO PARA CONTROLE E MONITORAMENTO EM UMA
ESTUFA DE HORTALIÇAS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS E O
MICROCONTROLADOR ESP8266**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de Bacharel no curso de
Ciência da Computação da Universidade do
Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Sérgio Coral

CRICIÚMA

2020

BERNARDO SCHMITZ DOS SANTOS

**ESTUDO DE UM PROTÓTIPO PARA CONTROLE E MONITORAMENTO EM UMA
ESTUFA DE HORTALIÇAS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS E O
MICROCONTROLADOR ESP8266**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
pela Banca Examinadora para obtenção do
Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da
Computação da Universidade do Extremo Sul
Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa
em Internet das Coisas

Criciúma, 06 de agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA

DocuSigned by:
Sérgio Coral
0D6DD42F4F2F4BE...

Prof. Sérgio Coral - Especialista - (UNESC) - Orientador

DocuSigned by:
Luciano Antunes
31311BC26AF7456...

Prof. Luciano Antunes - Mestre - (UNESC)

DocuSigned by:
Matheus Leandro Ferreira
18098330A82D41E...

Prof. Matheus Leandro Ferreira - Especialista - (UNESC)

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram nessa trajetória, familiares, amigos e professores do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares pelo incentivo e disposição para com a finalização desse trabalho e graduação. Aos colegas e amigos que fiz durante o curso, assim como os professores e a própria universidade, que tornaram essa conquista possível e gratificante.

“Se andarmos apenas por caminhos já traçados, chegaremos apenas aonde os outros chegaram.”

Alexander Graham Bell

RESUMO

O setor agrícola é uma das atividades de maior importância econômica de um país, sendo considerado fonte de renda e emprego para milhares de trabalhadores. Nesse amplo setor, o cultivo de hortaliças em ambiente protegido ainda é pouco praticado no Brasil, devido entre outros fatores, aos elevados custos de investimento e implantação desse sistema de produção. Considerando essa demanda de mercado e o crescimento exponencial da Internet das Coisas, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de estufa para cultivo de hortaliças, de forma automatizada e conectada à Internet. Para tal, foi utilizada a placa microcontrolada Wemos D1 em conjunto com diversos hardwares e softwares, que resultaram em uma aplicação web de controle e monitoramento. O protótipo ficou responsável pelo processo de irrigação, além de controlar a umidade do ar, temperatura e luminosidade no interior da estufa. Para avaliar o seu funcionamento, além dos testes físicos em diferentes condições e ambientes, também foi realizado um levantamento a partir dos dados coletados, para uma posterior discussão sobre a comparação entre os cultivos de dentro e fora do protótipo. Os resultados obtidos se mostraram dentro do esperado para a proposta desse trabalho, tendo assim alcançados os objetivos de forma satisfatória. Pretende-se com a elaboração deste trabalho contribuir para o desenvolvimento tecnológico no campo da agricultura e no bem-estar das pessoas, visando a redução de custos e melhorias no processo de produção de hortaliças em estufas.

Palavras-chave: Internet das Coisas, ESP8266, Cultivo protegido, Estufa

ABSTRACT

The agricultural sector is one of the most economically important activities in a country, being considered a source of income and employment for thousands of workers. In this broad sector, the cultivation of vegetables in a protected environment is still little practiced in Brazil, due, among other factors, to the high investment costs and implementation of this production system. Considering this market demand and the exponential growth of the Internet of Things, this work presents the development of a greenhouse prototype for growing vegetables, in an automated way and connected to the Internet. For this, the Wemos D1 microcontrolled board was used in conjunction with various hardware and software, which resulted in a web control and monitoring application. The prototype was responsible for the irrigation process, in addition to controlling air humidity, temperature and light inside the greenhouse. In order to evaluate its functioning, in addition to the physical tests in different conditions and environments, a survey was also carried out based on the data collected, for a later discussion on the comparison between the crops inside and outside the prototype. The results obtained were shown to be as expected for the proposal of this work, thus achieving the objectives satisfactorily. The aim of this work is to contribute to technological development in the field of agriculture and the well-being of people, aiming at cost reduction and improvements in the greenhouse vegetable production process.

Keywords: Internet of Things, ESP8266, Protected cultivation, Greenhouse

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelos de estufas mais utilizados no Brasil	13
Figura 2 – Crescimento de dispositivos conectados entre 2003 a 2020	18
Figura 3 – Funções de um objeto na IoT.....	18
Figura 4 – Diagrama de um esquema de controle	21
Figura 5 – Modelos de placas Arduino	23
Figura 6 – Modelos de placas ESP8266	24
Figura 7 – Função básica de um sensor	25
Figura 8 – Sensores do tipo LDR	26
Figura 9 – Sistema de contatos NA e NF	27
Figura 10 – Rascunho do protótipo	34
Figura 11 – Estrutura base da estufa	35
Figura 12 – Principais componentes da placa Wemos D1	36
Figura 13 – Módulo LDR	37
Figura 14 – Módulo relé quatro canais e dois canais	38
Figura 15 – Sensor DHT22.....	38
Figura 16 – Sensor de umidade do solo FC-28.....	39
Figura 17 – Protoboard de 830 furos.....	40
Figura 18 – Reservatório de água	40
Figura 19 – Bomba-d'água RS385	41
Figura 20 – Umidificador de ar	42
Figura 21 – Ventoinha frontal	43
Figura 22 – Lâmpada fluorescente	43
Figura 23 – Sensor capacitivo de umidade do solo	44
Figura 24 – Método de resfriamento com Peltier.....	46
Figura 25 – Lâmpada Led Grow 28w	47
Figura 26 – Esquema geral do circuito elétrico do protótipo.....	47
Figura 27 – Esboços da tela inicial da aplicação em desktop e mobile	48
Figura 28 – Diagrama do funcionamento geral do protótipo.....	49
Figura 29 – Página de controle do sistema	51
Figura 30 – Página de monitoramento do sistema	52
Figura 31 – Comparação do crescimento dos cultivos	54
Figura 32 – Aumento da umidade relativa do ar.....	56

Figura 33 – Menu arquivo (Arduino IDE)	66
Figura 34 – Janela preferências	66
Figura 35 – Aba Ferramentas.....	67
Figura 36 – Janela Gerenciador de Placas	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as principais tecnologias de comunicação em IoT	20
Tabela 2 – Materiais utilizados na confecção do protótipo físico.....	34
Tabela 3 – Comparativo entre as placas Wemos D1 R2 e Arduino Uno	36
Tabela 4 – Especificações técnicas do sensor DHT22.....	38
Tabela 5 – Especificações técnicas da bomba-d'água RS385.....	41
Tabela 6 – Valores de umidade do solo lidos no sensor FC-28	45
Tabela 7 – Parâmetros avaliados interna e externamente em relação à estufa.....	54
Tabela 8 – Lista de componentes x preço.....	55
Tabela 9 – Relação dos pinos e dispositivos conectados.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCSEM	Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas
COBAPLA	Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura
CNA	Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil
FAO	Food and Agriculture Organization
IBSG	Cisco Internet Business Solutions Group
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
OMS	Organização Mundial de Saúde
GND	Ground
LDR	Light Dependent Resistor
VCC	Voltage Continuous Current

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 OBJETIVO GERAL.....	7
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.3 JUSTIFICATIVA	7
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2 PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS	10
2.1 CULTIVO EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	10
2.1.1 ESTUFAS AGRÍCOLAS	11
2.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS.....	13
2.2.1 Temperatura.....	14
2.2.2 Umidade relativa do ar	14
2.2.3 Luminosidade	15
2.2.4 Umidade do solo.....	15
3 INTERNET DAS COISAS	17
3.1 FUNÇÕES DE UM OBJETO NA IOT	18
3.1.1 Características.....	19
3.1.2 Relações.....	19
3.1.3 Interface	20
3.2 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO	20
3.3 AUTOMAÇÃO E A INTERNET DAS COISAS	20
3.4 MICROCONTROLADORES.....	22
3.4.1 Arduino.....	23
3.4.2 Microcontroladores ESP.....	23
3.5 SENSORES	24
3.5.1 Sensores de temperatura	25
3.5.2 Sensores de umidade do solo.....	26
3.5.3 Sensores de luminosidade	26
3.6 ATUADORES	27
3.6.1 Relés.....	27
3.6.2 Bomba d'água.....	28
4 TRABALHOS CORRELATOS.....	29
4.1 SISTEMA MICROCONTROLADO PARA ESTUFAS	29

4.2 AUTOMAÇÃO DE ESTUFA AGRÍCOLA INTEGRANDO HARDWARE LIVRE E CONTROLE REMOTO PELA INTERNET	30
4.3 SISTEMA DE INTERNET DAS COISAS (IOT) PARA O MONITORAMENTO DE CULTIVOS PROTEGIDOS.....	31
4.4 DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTUFA CONTROLADA E MONITORADA REMOTAMENTE	32
5 MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1 PROTÓTIPO FÍSICO	33
5.1.1 Componentes de hardware	35
5.1.1.1 Wemos D1 R2	35
5.1.1.2 Módulo LDR	37
5.1.1.3 Módulos Relés.....	37
5.1.1.4 Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22	38
5.1.1.5 Sensor de umidade do solo FC-28	39
5.1.1.6 Protoboard.....	40
5.1.1.7 Reservatório de água	40
5.1.1.8 Bomba-d'água RS385	41
5.1.1.9 Umidificador de ar	42
5.1.1.10 Ventoinhas	42
5.1.1.11 Lâmpada fluorescente	43
5.2 TESTES PRÉ-CULTIVO	44
5.2.1 Testes de umidade do solo	44
5.2.2 Teste de controle de temperatura	45
5.2.3 Display LCD	46
5.2.4 Lâmpada Led Grow 28w	46
5.2.4 Esquema elétrico.....	47
5.3 APLICAÇÃO WEB DE CONTROLE E MONITORAMENTO	48
5.3.1 Programação do microcontrolador.....	49
5.3.1.1 Controle de luminosidade.....	50
5.3.1.2 Controle de temperatura e umidade relativa do ar	50
5.3.1.3 Controle de umidade do solo.....	50
5.3.1.4 Página de controle e monitoramento.....	51
5.3.2 Thingspeak	52
5.4 RESULTADOS	53

5.4.1 Análise comparativa entre o cultivo realizado dentro e fora do protótipo	53
5.4.2 Custos do projeto.....	54
5.4.3 Discussões	56
6 CONCLUSÃO	58
APÊNDICE A – CONEXÕES DOS PINOS DIGITAIS E ANALÓGICOS NA PLACA WEMOS D1 R2	65
APÊNDICE B – CONFIGURAÇÃO DA IDE ARDUINO PARA PROGRAMAÇÃO DA PLACA WEMOS D1 R2 (ESP8266)	66
APÊNDICE C – ARTIGO	68

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos setores de maior importância em um país, constituindo-se de uma atividade altamente lucrativa e com relevante participação na economia nacional e internacional, sendo fonte de renda primária para milhares de trabalhadores.

No Brasil, a produção de hortaliças é uma área do setor agrícola que está em constante crescimento. De acordo com os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017), em 2017, o país produziu aproximadamente 17,9 milhões de toneladas de diversas espécies de hortaliças, montante equivalente a uma área de 752 mil hectares.

Por tratarem-se de culturas sensíveis, as hortaliças são plantas que dependem de um ambiente altamente favorável ao seu desenvolvimento, portanto, mantê-las em condições ambientais favoráveis, bem como longe de infestações de pragas e doenças, são fatores essenciais para o desenvolvimento saudável destes cultivos (RODRIGUES, 2015).

Neste contexto, observa-se a importância de identificar e eliminar as deficiências no processo de produção de hortaliças. Entre os principais problemas a serem enfrentados, menciona-se a baixa produtividade dos atuais sistemas de cultivo, os elevados riscos e custos de produção e a pouca ou ineficaz utilização de tecnologia.

Os sistemas de cultivo em ambiente protegido, como em uma estufa, podem ser considerados formas de contornar tais problemas. A partir da leitura de sensores é possível obter dados e traduzi-los em ações de decisão. Isso torna-se possível por meio da ampla oferta de equipamentos disponíveis no mercado, que em conjunto são capazes de formar um esquema de controle automatizado, economizando tempo e recursos aos produtores (LOUREIRO et. al., 2018).

Dentro desta perspectiva, este trabalho abordou temas relacionados a utilização de microcontroladores, o cultivo de hortaliças em ambiente protegido, bem como o desenvolvimento de um protótipo para controle e monitoramento de uma estufa agrícola. O objetivo do trabalho foi desenvolver um protótipo de uma estufa inteligente e autônoma, e ao fim, comparar os cultivos dentro e fora do protótipo, por meio dos testes e dados coletados durante o processo de plantio.

A realização deste trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento tecnológico no campo da agricultura e no bem-estar das pessoas, proporcionando

melhorias no processo de produção de hortaliças, tendo em vista a redução de custos e o acesso facilitado a tecnologia.

1.1 OBJETIVO GERAL

Empregar o conceito de IoT em associação com microcontrolador ESP8266 no controle e monitoramento de uma estufa para hortaliças.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para elaboração deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) utilizar e conceituar IoT e os dispositivos microcontroladores;
- b) desenvolver uma aplicação *web* para controle e monitoramento da estufa;
- c) construir um protótipo de uma estufa a ser controlada pelo *software* desenvolvido;
- d) executar testes no projeto, a fim de obter uma análise comparativa entre o cultivo realizado dentro e fora do protótipo.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, a produção e o consumo de hortaliças enfrentam diversos problemas, seja por falta de investimentos em pesquisas e tecnologias na área, quanto pela baixa taxa de consumo, devido entre outros fatores ao alto valor das hortaliças no mercado. De acordo com os dados da Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM, 2020) o consumo diário de hortaliças entre cada brasileiro é de cerca de 130 gramas, sendo três vezes menor que o recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) que indica a quantidade ideal em aproximadamente 400 gramas por dia.

Entre os problemas comumente encontrados na produção de hortaliças, estão as próprias condições climáticas da qual uma planta é exposta. Elevadas temperaturas, excesso e escassez de chuvas, ventos fortes, entre outros fatores, são adversidades enfrentadas pelos produtores todos os anos (SILVA et. al., 2014).

Todavia, tais problemas podem ser reduzidos por meio da adoção do sistema em cultivo protegido. Nesse tipo de ambiente é possível controlar algumas variáveis climáticas como temperatura, umidade do ar, radiação solar e vento, proporcionando assim, condições adequadas para uma melhor produção de plantas (SILVA et. al., 2014).

Porém, há ainda algumas dificuldades para implantação desses ambientes em território brasileiro, os elevados custos dos materiais e recursos elétricos, além do acesso restrito a tecnologias de ponta, são alguns dos desafios que ainda precisam ser superados (GUEDES, 2015).

A tecnologia é uma ferramenta capaz de facilitar diversas situações no cotidiano das pessoas, seja por simplificar processos ou mesmo por reduzir a propensão de erros humanos. Entretanto, de forma isolada a tecnologia não garante bons resultados, seu uso de forma obsoleta pode trazer uma série de problemas, que levam a consequências insatisfatórias, como por exemplo, uma baixa produtividade na produção (CASTRO, 2012).

Utilizando-se dos dispositivos microcontroladores, tal como sua gama de sensores e extensões de *hardware* aliado aos conceitos da IoT, é possível criar não somente um projeto que emprega tecnologia, mas também conectado, inteligente e relativamente de baixo custo.

No contexto em que a redução de custos e a promoção de inovações, tornam-se cada vez mais necessárias no setor agrícola, as ações de caráter tecnológico e o fomento de novas ideias, ganham destaque e são tidas como alternativas para contribuir com a redução das dificuldades encontradas na produção de hortaliças.

Consequentemente, a elaboração do projeto de uma estufa microcontrolada aplicando os conceitos de IoT tem como propósito principal reduzir os problemas encontrados por quem cultiva hortaliças. Tendo isso em mente, este trabalho propõe uma solução para que hortaliças sejam cultivadas de modo facilitado, transformando procedimentos antes manuais em automáticos e inteligentes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é dividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo apresenta a introdução do trabalho, a definição do problema, objetivo geral e específicos, e pôr fim a justificativa.

O segundo capítulo descreve sobre as hortaliças e seus tipos, abordando o conceito de cultivo em ambiente protegido, estufas, bem como menciona as variáveis e as formas de controle realizadas, destacando o manejo de cada variável.

No terceiro capítulo, apresenta-se a Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), e seus conceitos, exemplificando o que é um objeto inteligente, bem como suas funções, caracteriza-se os dispositivos microcontroladores, além de apresentar o conceito sobre sensores, atuadores e seus tipos.

O quarto capítulo disserta sobre os trabalhos correlatos que foram utilizados como base para elaboração deste projeto.

No quinto capítulo, é apresentado o desenvolvimento do protótipo físico, os componentes de hardware utilizados, a plataforma IoT e a aplicação web de controle e monitoramento da estufa, além de abordar sobre os resultados obtidos.

O sexto e último capítulo, é destinado a conclusão do trabalho, a discussões sobre as dificuldades encontradas e a proposta de melhorias e trabalhos futuros.

2 PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

As hortaliças são plantas herbáceas geralmente cultivadas em hortas ou espaços limitados, em sua maioria são caracterizadas pelo pequeno porte, ausência de caule lenhoso e rápido crescimento. Elas possuem uma ou mais partes comestíveis e são amplamente utilizadas na alimentação humana e animal (HENZ; ALCANTARA, 2009).

Dado a ampla diversidade de hortaliças existentes, Bevilacqua (2006) as divide em três grupos, utilizando suas partes comestíveis como fator de diferenciação:

- a) hortaliças tuberosas: a parte comestível desenvolve-se dentro do solo, sendo divididas em bulbos, rizomas e raízes, dentre elas batata, gengibre, cenoura e alho;
- b) hortaliças herbáceas: são aquelas em que a parte comestível se encontra acima do solo, como as folhosas, os talos e hastes, dentre os exemplos inclui-se alface, repolho, couve-flor e espinafre;
- c) hortaliças fruto: o fruto é a parte comestível, podendo ser consumido maduro ou não, dentre os exemplos estão melancia, ervilha, berinjela e tomate.

Como importante componente da dieta humana, as hortaliças oferecem não apenas diversidade de cores e texturas, mas também nutrientes indispensáveis. Com poucas calorias, elas são fontes de fibras, vitaminas, minerais e substâncias bioativas, que contribuem na redução do risco de diversas doenças (CLEMENTE; HABER, 2012).

2.1 CULTIVO EM AMBIENTE PROTEGIDO

Desde a aquisição do conhecimento sobre formas de cultivo, a humanidade busca aprimorar cada vez mais as técnicas de plantio, objetivando contornar os diversos problemas encontrados na produção de plantas. As formas de cultivo protegido podem ser consideradas resultado dessa busca.

O avanço nessa área continuou por um longo período, sendo que somente no século XVI foram criadas as primeiras estruturas de estufas na Itália, que mais tarde seriam implementadas em outros países da Europa, como Holanda e Inglaterra. No cenário brasileiro o uso de estufas e outras formas de cultivo protegido ganharam

destaque após pesquisas e projetos, e a utilização do polietileno na agropecuária durante as décadas de 70 e 80 (PINHEIRO, 2011).

O cultivo em ambiente protegido pode ser caracterizado pela construção de uma estufa, estrutura capaz de oferecer proteção contra os agentes meteorológicos, ao mesmo tempo que possibilita o controle de algumas condições climáticas como temperatura, umidade do ar, radiação solar, solo e vento (MIURA; FIGUEIREDO, 2011).

Para Silva, Silva e Pagiuca (2014) o controle sobre essas condições converte-se em ganho de produtividade, qualidade e redução do efeito de sazonalidade da planta. Entende-se por sazonalidade, o período em um ano, em que os efeitos causados pelas más condições ambientais dificultam ou impedem o ciclo de produção dos cultivos.

Apesar de apresentar algumas vantagens, a necessidade de altos investimentos e mão de obra especializada, fazem com que o cultivo protegido ainda seja pouco explorado no Brasil. Segundo dados do Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura (COBAPLA) o país possui cerca de 30 mil hectares de área em cultivo protegido, sendo apenas 2 mil hectares destinado ao cultivo de hortaliças (RODRIGUES, 2015).

2.1.1 ESTUFAS AGRÍCOLAS

As casas de vegetação ou popularmente conhecidas como estufas, são estruturas utilizadas na produção de certos tipos de plantas, que podem ou não conter processos de controle ou climatização.

Segundo Reis (2005) as estufas são estruturas construídas a partir de diversos materiais, alumínio, concreto, ferro, madeira, vidro e geralmente cobertas por materiais transparentes como o plástico. Estas servem como um ambiente capaz de fornecer um microclima benéfico a quaisquer espécies de plantas, independente da ação de fatores ambientais externos.

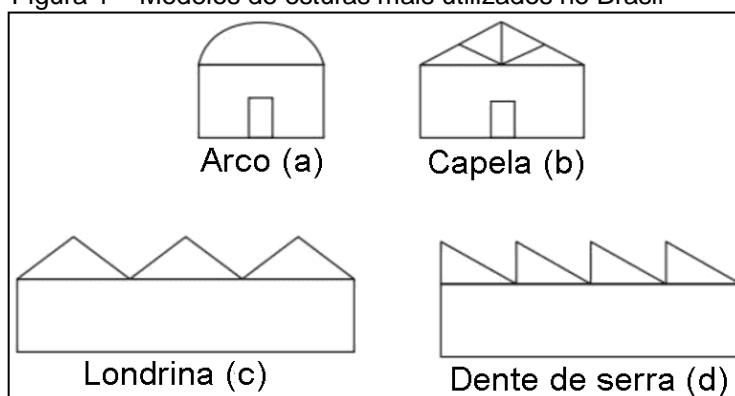
No interior das estufas, esse microclima gerado pode ser alterado ou mantido por meio da atuação de diversos equipamentos como ventiladores, exaustores, aquecedores, nebulizadores, lâmpadas dentre outros. Tais dispositivos podem ser acionados de forma manual ou previamente programados por meio de sensores responsáveis pelo controle do ambiente (SGANZERLA, 1997).

Apesar de no Brasil as estufas em sua maioria, limitarem-se a proteção contra chuvas e ventos, elas também podem conter recursos mais complexos, permitindo o controle sobre fatores como água, nutrientes, luz, temperatura e umidade relativa do ar (BLISKA JÚNIOR, 2011).

No mercado há diferentes tipos de estufas, devido à variedade de fabricantes e materiais empregados, logo é necessário considerar algumas especificações antes de aderir um modelo, tais como: nível de proteção, recursos financeiros disponíveis, matéria-prima, tecnologia utilizada e o tipo de cultivo que será produzido. No Brasil, alguns dos modelos mais comumente utilizados de acordo com o seu formato (figura 1) são (CAMPAGNOL; MELLO; PINHEIRO, 2015):

- a) arco: com uma cobertura em formato semicircular, este modelo de estufa garante alta resistência á ventos, entretanto seu formato dificulta a instalação de janelas superiores, ocasionando acúmulo de calor no interior do ambiente;
- b) capela: possui uma cobertura em formato triangular que produz menor resistência a ventos se comparada ao modelo em arco, porém é indicada a regiões com alto índice pluviométrico. A possibilidade de instalar janelas em sua cobertura faz com que este modelo permita um melhor manejo da temperatura no interior do ambiente;
- c) londrina: modelo de baixo custo, construído com suportes de madeiras ou bambus e arames. Sua parte superior é plana com pequenas ondulações, sendo indicada para regiões de baixo índice pluviométrico, já que pode haver acúmulo de chuva na cobertura. Este modelo apresenta pouca movimentação de ar no seu interior;
- d) dente de serra: modelo com ventilação eficiente, normalmente instalada conforme o sentido do vento, entre os vãos de um dente e outro forma-se uma pressão que retira o ar quente de dentro da estufa. Contudo pelo formato de sua cobertura reduz-se a incidência da luz solar.

Figura 1 – Modelos de estufas mais utilizados no Brasil



Fonte: Adaptado de Campagnol, Mello e Pinheiro (2016).

Como é possível compreender, cada modelo de estufa possui suas próprias vantagens e desvantagens, questões como o local de instalação, clima, custos de implantação, materiais empregados e tipo de cobertura, devem ser levados em conta no momento de definir qual modelo que será utilizado.

2.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

O clima é uma das condições mais importantes para o ciclo de desenvolvimento das plantas, temperatura, umidade relativa do ar, chuva, vento, dentre outros fatores que compõe um clima, são elementos fundamentais para que uma planta consiga desenvolver-se de maneira saudável (SANTOS; SEABRA JUNIOR; NUNES, 2010):

Cada espécie de hortaliça possui suas próprias características e condições para o seu melhor desenvolvimento. Deste modo, é importante levar em consideração a região, a época do ano, as condições da espécie, os materiais utilizados, o preparo do solo, além dos cuidados que devem ser tomados, principalmente em relação a pragas e doenças (CLEMENTE; HABER, 2012).

De acordo com Aquino (2013) manter controle sobre as variáveis que afetam diretamente o ciclo de vida das plantas, é em geral uma necessidade básica e fundamental do processo de produção agrícola. Para tal, existem inúmeros dispositivos destinados ao controle dessas variáveis, e a utilização de cada um destes, depende do tipo de ambiente, do valor de investimento e da eficiência esperada.

Neste contexto, é essencial entender melhor algumas das principais variáveis que afetam diretamente o ciclo de desenvolvimento das plantas como a temperatura, umidade relativa do ar, umidade do solo e luminosidade

2.2.1 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento de uma planta, tendo influência sobre processos vitais como germinação, transpiração, respiração, fotossíntese, crescimento, floração e frutificação. No clima tropical e subtropical brasileiro, o cultivo de hortaliças é possível durante o ano todo, todavia, o calor demasiado por vezes pode vir a ser um problema na produção dessas plantas (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

Na literatura, há diversos métodos para regular a temperatura dentro de uma estufa, como ventilação, resfriamento evaporativo e filtros de radiação. No entanto, esses métodos podem consumir muita energia ou ter um custo de investimento muito alto. No caso da ventilação, a temperatura pode ser reduzida trocando o ar quente de dentro da estufa com o ar mais frio do ambiente externo. Entretanto, em condições de intenso calor, o ar externo pode não fornecer um efeito de resfriamento adequado, já que sua temperatura também é elevada (GULREZ et. al., 2013; LANDSBERG; WHITE; THORPE, 1979, tradução nossa).

Uma outra forma de controlar a temperatura no interior de uma estufa, se dá por meio do manejo de telas e janelas, ou seja, pela abertura e fechamento é possível respectivamente aquecer e resfriar o ambiente (SILVA; SILVA; PAGIUCA, 2014).

2.2.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é expressa em porcentagem (%), e representa a quantidade de vapor de água presente na atmosfera em relação à sua totalidade (100%) em iguais condições de temperatura (CGE, 2011).

No interior de uma estufa, a umidade do ar é influenciada diretamente pela temperatura, e as duas estabelecem uma relação inversa. Durante o dia a umidade pode variar de 30 a 100%, sendo menor na parte do dia e elevada durante a noite. A umidade do ar tem sua importância, pois afeta o equilíbrio hídrico das plantas, bem como pode alterar seu processo de evapotranspiração e sua capacidade de absorver água e nutrientes (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

O manuseio da umidade do ar pode ser realizado por meio do uso da ventilação, buscando tanto aumentá-la como diminuí-la. Outras ações podem ser

adotadas para se elevar a umidade, como a pulverização das plantas com água. Nesse caso a água pulverizada ao evaporar das plantas irá elevar a umidade e diminuir a temperatura (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

2.2.3 Luminosidade

Na agricultura, a luminosidade é descrita como a quantidade de luz que incide sobre as plantas, sendo considerada um fator vital para o processo de fotossíntese e essencial a sua sobrevivência e desenvolvimento (HOPKINS, 2006, tradução nossa).

A forma natural que as plantas recebem luz para garantir energia é por meio da radiação solar. Em ambientes protegidos a luz do sol pode ser controlada com o uso de coberturas plásticas e filmes agrícolas, tendo o custo relativamente baixo, sua taxa de reflexão e inibição da radiação solar são comparáveis a utilização do vidro, sendo seus efeitos praticamente equivalentes (VISCHI FILHO, 2002).

Um outro tipo de controle de luminosidade pode ser realizado mediante uso de iluminação artificial, segundo Purquerio e Tivelli (2006) esse tipo de prática somente se justifica quando usado em culturas de alto valor agregado ou em plantas específicas que necessitem de um maior controle. Os autores também destacam que sempre que se altera a intensidade luminosa do ambiente, altera-se, também outros fatores climáticos como a temperatura e a umidade relativa do ar.

2.2.4 Umidade do solo

A utilização de água na produção de sementes e plantas é realizada via irrigação, podendo ser de forma manual ou automatizada. Buscando melhores resultados, deve-se fazer o uso de água sem poluentes e sais solúveis, pois assim como os outros fatores, o manejo inadequado da umidade do solo pode trazer danos e perdas para a produção (BEZERRA, 2003).

Visto que cada planta possui suas próprias condições, não é possível determinar uma forma de irrigação ideal. Assim, de acordo com Henz e Alcantara (2009) as hortaliças podem ser irrigadas utilizando processos de aspersão, gotejamento, sulcos e outros de menor relevância.

Dentre os métodos, a irrigação por gotejamento, também chamada de irrigação localizada, na qual a água percorre tubulações e é distribuída ao solo por pequenos furos (gotejadores), apresenta algumas vantagens em relação aos demais métodos (HENZ; ALCANTARA, 2009):

- a) maior economia no uso de água;
- b) redução de energia elétrica;
- c) custo de mão de obra menor;
- d) possibilidade de automação total do processo de irrigação;
- e) aplicação em diferentes tipos de solo;
- f) menor incidência de pragas e doenças.

Para a compreensão do protótipo a ser desenvolvido nesse trabalho, se faz necessário abordar sobre a IoT e seus conceitos, assim como os termos objeto inteligente, tecnologias de comunicação, além da definição de microcontroladores, placas de desenvolvimento, sensores, atuadores e suas aplicações.

3 INTERNET DAS COISAS

No contexto tecnológico, a Internet das Coisas é um conceito relativamente novo, que vem conquistando novos espaços no mercado, superando desafios tecnológicos ao longo dos últimos anos.

Segundo Oliveira (2017), a IoT tem como propósito tornar objetos comuns do dia a dia em inteligentes e conectados, uma vez que eles sejam capazes de coletar e processar informações do ambiente na qual estão inseridos.

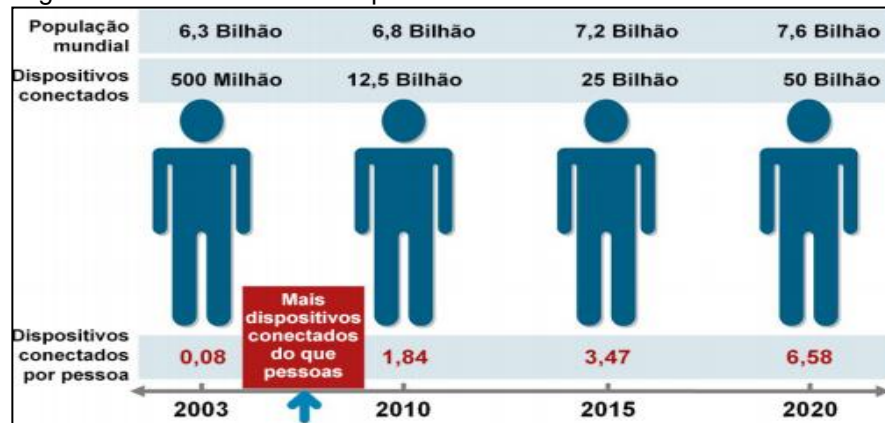
Tais objetos, também chamados de *smart objects*, devem possuir capacidade computacional, comunicativa e de processamento de dados junto a sensores (MANCINI, 2017).

De acordo com a União Internacional de Telecomunicações, do inglês *International Telecommunication Union* (ITU), a Internet das Coisas abrange um conceito ainda mais amplo, sendo definida como uma infraestrutura global para a sociedade, permitindo serviços avançados (físicos e virtuais) de coisas baseadas em recursos existentes de tecnologias, informação e comunicação interoperáveis (ITU, 2012, tradução nossa).

Ao longo dos anos, a diversidade de dispositivos conectados à Internet expandiu-se e passou a incluir não somente dispositivos convencionais, mas também TVs, geladeira, fogão, automóveis, eletrodomésticos entre outros (EVANS, 2011).

Diante deste cenário, o Grupo Cisco de Soluções de Negócios na Internet, do inglês *Cisco Internet Business Solutions Group* (IBSG), indica que no ano de 2020, existirão cerca de 6,6 dispositivos conectados para cada pessoa no planeta, um valor próximo a 50 bilhões, que tende a crescer em até 10 vezes, chegando próximo aos 500 bilhões no ano de 2030, a figura 2 ilustra a taxa desse crescimento nas duas últimas décadas (CISCO, 2018, tradução nossa).

Figura 2 – Crescimento de dispositivos conectados entre 2003 a 2020



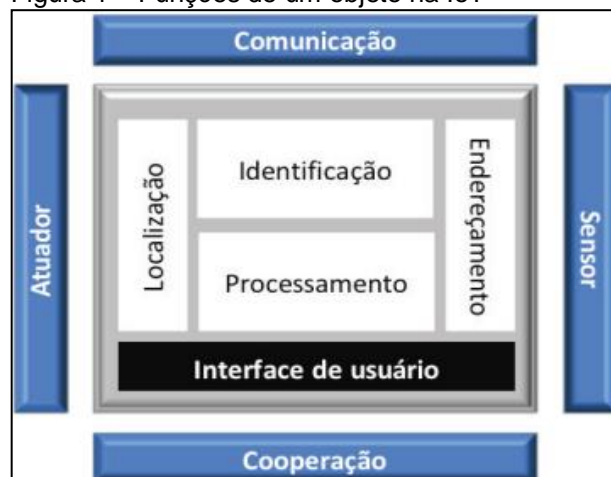
Fonte: IBSG (2011).

Esse aumento exponencial de objetos conectados à Internet impõe desafios significativos e oportunidades sem precedentes para organizações em todo o mundo. Os dispositivos inteligentes e conectados que compõem a IoT geram dados que precisam ser coletados, armazenados e posteriormente analisados. O desafio futuro é construir uma infraestrutura digital que permita o aproveitamento desses dados e a obtenção de informações congruentes (CISCO, 2018, tradução nossa).

3.1 FUNÇÕES DE UM OBJETO NA IOT

Para que uma coisa seja considerada como um *smart object*, ou seja um objeto de IoT, ela deve possuir um conjunto de funções, que estão divididas em: Características, Relações e Interface (FACCIONI FILHO, 2016). A figura 3 apresenta as nove funções de um objeto na IoT.

Figura 1 – Funções de um objeto na IoT



Fonte: Faccioni Filho (2016).

Apesar de apresentar um conjunto de nove funções, Faccioni Filho (2016) afirma que nem todo objeto de IoT possui todas as funcionalidades, já que elas dependem do próprio objeto, suas aplicações e do ambiente em que está inserido.

3.1.1 Características

Faccioni Filho (2016), descreve o conjunto das características que um objeto de IoT deve incluir como os seguintes:

- a) processamento: referente à capacidade de processamento computacional de um objeto. Sendo este, capaz de agir e responder as requisições da IoT e suas aplicações;
- b) endereçamento: corresponde à capacidade do objeto de ser encontrado na IoT, isto é, localizá-lo na rede por meio de roteamento;
- c) identificação: refere-se à identidade única de cada objeto em toda a rede IoT;
- d) localização: local físico no mapa geográfico, no qual o objeto se encontra.

3.1.2 Relações

Para o conjunto relações, as seguintes funções são atribuídas a um objeto de IoT (FACCIONI FILHO, 2016):

- a) comunicação: capacidade que um objeto tem de receber e enviar mensagens a outros objetos na IoT;
- b) cooperação: habilidade de agir em conjunto com outros objetos da IoT, visando ações conjuntas e de cooperação;
- c) sensoriamento: trata-se da captação de dados do ambiente e de outros objetos, por meio de sensores do próprio objeto e que permitem monitorar certas variáveis do ambiente;
- d) atuação: disposição do objeto em agir sobre o ambiente, manipulando a condição de um determinado espaço.

3.1.3 Interface

O conjunto interface corresponde a toda interação realizada entre o objeto e o usuário, o que torna possível visualizar informações do objeto, além de configurar e modificar sua condição (FACCIONI FILHO, 2016).

3.2 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Para que um objeto esteja conectado à Internet é necessário que o mesmo utilize tecnologias e padrões para isso. A tabela 1 apresenta algumas das principais tecnologias de comunicação de dados utilizadas em IoT, destacando as características específicas de cada uma delas (SANTOS et. al., 2016):

Tabela 1 – Comparação entre as principais tecnologias de comunicação em IoT

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	Topologia
Ethernet	100/2000m	N/A	10Gbps	Variada
Wi-Fi	50m	2.4/5 Ghz	1300Mbps	Estrela
BLE	80m	2.4 Ghz	1Mbps	Estrela/Mesh
ZigBee	100m	915 Mhz/2.4 Ghz	250kbps	Estrela/Mesh
3G/4G	35/200km	1900/2100/2500 Mhz	1/10Mbps	Estrela

Fonte: Adaptado de Santos et. al. (2016).

Dentre as tecnologias de comunicação apresentadas na tabela 1, destaca-se a utilização do padrão Wi-Fi. Apesar de seu alto consumo de energia, quando comparado a tecnologias semelhantes, o Wi-Fi apresenta algumas vantagens como mobilidade, sendo acessível também para dispositivos móveis, além de possuir longo alcance de conexão e vazão. Todavia, é necessário compreender as características de cada uma das tecnologias assim como sua finalidade, para que se escolha a melhor forma de conectar um dispositivo na IoT (SANTOS et. al., 2016).

3.3 AUTOMAÇÃO E A INTERNET DAS COISAS

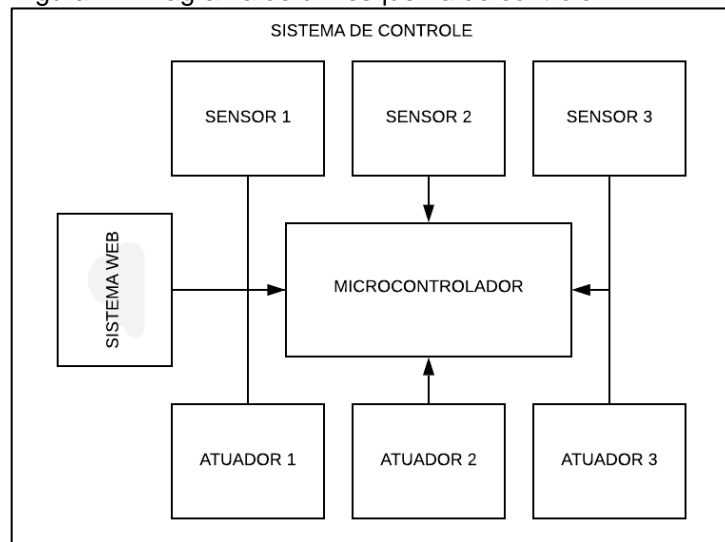
A automação de processos ou máquinas pode ser definida como uma forma de controle automática, na qual os dispositivos verificam seu próprio

funcionamento, determinando novas medidas e ajustes com mínima ou nenhuma interferência humana (PELLINI, 2017). Seleme (2011) acrescenta que é necessário um algoritmo combinado a uma técnica de controle para que um processo ou procedimento possa ser caracterizado como automatizado.

Na agricultura, a automação é utilizada para facilitar as diferentes atividades agrícolas, contribuindo com melhorias na qualidade de vida do produtor e de suas produções. Por meio desta tecnologia, busca-se reduzir os custos de produção e mão de obra e simultaneamente provocar um aumento considerável na produtividade dos cultivos (TERUEL, 2010).

Portanto, é importante diferenciar os conceitos de automação e IoT, sendo o primeiro um processo mais simples, que tem por objetivo transformar procedimentos manuais em automáticos. Já na IoT, o conceito está mais ligado a conexão de objetos na Internet e as aplicabilidades que surgem por meio desta conexão, seja ele um dispositivo de pequeno porte ou um sistema complexo. A figura 4 ilustra de forma simplificada um esquema de controle, na qual sensores e atuadores estão conectados a um microcontrolador central, que por sua vez, também possui capacidade para acessar um sistema web na Internet.

Figura 4 – Diagrama de um esquema de controle



Fonte: Do autor.

A conexão de um objeto na IoT desta forma, possibilita com que este seja utilizado como provedor de serviços, atribuindo-lhe novas funções e características, gerando assim novas possibilidades de uso e aplicações (SANTOS et. al., 2016).

3.4 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores surgiram a partir da modernização dos circuitos digitais, devido à redução de custos e a miniaturização dos componentes, foi possível obter uma evolução em termos de *hardware*, substituindo a lógicas das portas digitais pelo trabalho conjunto de processador e *software* (PENIDO; TRINDADE, 2013).

Um microcontrolador caracteriza-se por um conjunto de circuitos eletrônicos agrupados em um único chip, este possui uma unidade de processamento, memórias e um conjunto de entradas e saídas para conectar-se a outros dispositivos, sensores e atuadores (ALMEIDA, 2017).

Sua estrutura interna é composta basicamente pelos seguintes componentes (PENIDO; TRINDADE, 2013):

- a) Unidade de Processamento Central (CPU): trata-se da parte responsável por interpretar as instruções do programa;
- b) Memória PROM (Memória Programável Somente de Leitura): parte na qual são gravadas as instruções do programa;
- c) Memória RAM (Memória de Acesso Aleatório): responsável por memorizar as variáveis utilizadas pelo programa;
- d) conexões de I/O (entradas/saídas): utilizadas para controle de dispositivos externos, e sinais de sensores, interruptores dentre outros;
- e) dispositivos auxiliares: determinantes para o funcionamento do microcontrolador, ou seja, gerador de *clock*, contadores, comunicador serial, dentre outros.

Devido à variedade de modelos encontrados no mercado, a versatilidade de uso e o baixo custo de aquisição, os microcontroladores são utilizados em inúmeras aplicações, sendo um produto vantajoso quando comparado aos circuitos convencionais (KERSCHBAUMER, 2013).

Dentre estes modelos, estão as placas de desenvolvimento, popularmente denominadas também como placas microcontroladoras. Produtos mais complexos que apresentam um conjunto maior de componentes e funções, destacando-se a plataforma Arduino, *Raspberry Pi* e as placas que utilizam os chips da família ESP.

3.4.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software* livre. Desenvolvido na Itália, no Instituto de Design e Interação Ivera, a plataforma conquistou adeptos rapidamente, tendo que se adaptar as novas necessidades e desafios que surgiram ao longo do tempo. Deste modo a fabricante passou a desenvolver não somente placas simples, mas também produtos com foco em IoT, tecnologias vestíveis, impressão 3D e ambientes incorporados (ARDUINO, 2019, tradução nossa).

O Arduino consiste em um equipamento semelhante a um pequeno computador, que pode ser programado de forma a possibilitar o processamento de entradas e saídas com outros dispositivos e componentes externos conectados a ele (MCROBERTS, 2015). A figura 5 mostra a variedade de placas Arduino, da esquerda para a direita os modelos Nano, Uno e Mega.

Figura 5 – Modelos de placas Arduino



Fonte: Adaptado de Arduino (2019).

Com relação a *software*, o Arduino possui seu próprio ambiente de programação, denominado Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), um *software* de uso livre, utilizado para criação de códigos baseados na linguagem C e Processing. Com o IDE, é possível escrever um conjunto de instruções ou programa, conhecido no Arduino como *sketch* (rascunho) e assim enviá-lo ao microcontrolador da placa por meio da conexão USB para que ele o execute (MCROBERTS, 2015).

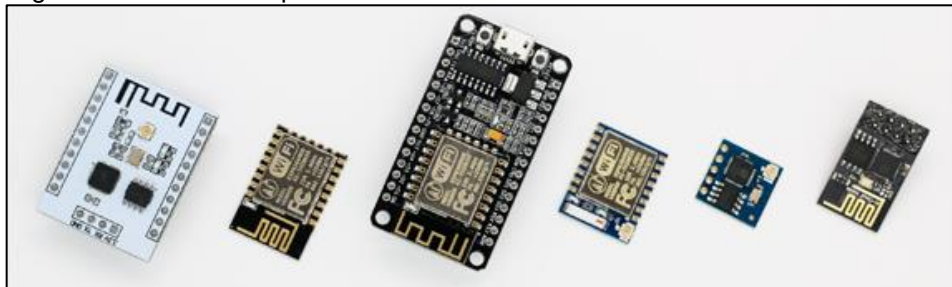
3.4.2 Microcontroladores ESP

A família de microcontroladores ESP é mantida pela empresa chinesa Espressif Systems, tendo como principal diferencial uma tecnologia de comunicação de rede sem fio integrada e de baixo consumo energético. A empresa desenvolve

basicamente três chips, denominados, ESP32-S2, ESP32 e ESP8266, cada qual com suas especificações, recursos e custo (ESPRESSIF, 2019, tradução nossa).

Estes chips são pequenos e improváveis de ter algum uso vindo diretamente da fábrica, todavia, diversos fabricantes adquirem tais chips e projetam placas microcontroladoras que os utilizam como um processador central, a figura 6 ilustra a variedade de placas que utilizam o chip ESP8266 (KOLBAN, 2016, tradução nossa).

Figura 6 – Modelos de placas ESP8266



Fonte: Thomsen (2016).

Todas essas placas possuem em comum a utilização do mesmo chip, distinguindo-se em número de pinos, quantidade de memória flash, tamanho, tipo de conector entre outras características relacionadas a construção, do ponto de vista da programação, todas são idênticas (KOLBAN, 2016, tradução nossa).

3.5 SENSORES

Sensores são equipamentos capazes de captar um determinado sinal dado por um estímulo e responder por meio de um sinal elétrico. Neste contexto, entende-se por estímulo a quantidade, condição ou a forma com que este sinal é detectado e convertido em sinal elétrico. De forma simples, pode-se definir um sensor como tradutor um de valor, tendo como saída um sinal na forma de corrente, tensão ou resistência elétrica. O funcionamento básico de um sensor pode ser visto na figura 7 (SOUSA; CARVALHO, 2011).

Figura 7 – Função básica de um sensor



Fonte: Adaptado de Sousa e Carvalho (2011).

Um sensor de forma isolada não é realmente funcional, já que ele apenas converte uma grandeza física em um sinal elétrico, sendo assim, são normalmente conectados a outros dispositivos que compõem um conjunto de *hardware* maior.

Sua função é extrair informações do ambiente no qual está inserido e convertê-la em um sinal que pode ser interpretado pelo microcontrolador ou sistema da qual faz parte. Após interpretar este sinal, o dispositivo conectado ao sensor tem as informações necessárias para uma tomada de decisão, este processo é realizado pelo microcontrolador e sua ação é executada por algum dos atuadores do sistema (BANZI; SHILOH, 2015)

3.5.1 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura são utilizados com intuito de identificar o nível de energia térmica presente nos sistemas ou equipamentos. A medida de temperatura pode ser obtida por meio de alguns princípios físicos como o termoelétrico e o resistivo (AQUINO, 2013).

No mercado existe uma ampla variedade de sensores de temperatura, com diferentes características e aplicações. Amplamente utilizado em projetos acadêmicos que visam a implementação de uma solução de baixo custo, encontra-se o uso dos sensores DHT11, DHT22 e LM35.

3.5.2 Sensores de umidade do solo

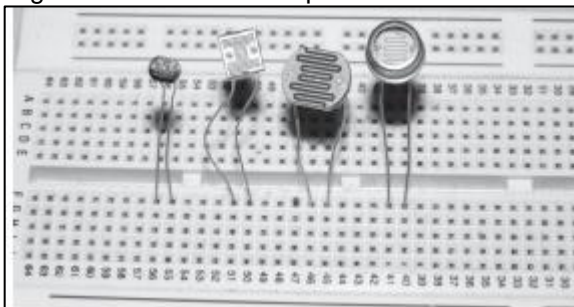
O nível de umidade do solo pode ser medido a partir de sensores do tipo capacitivo ou resistivo, que operam respectivamente segundo o princípio da capacitância elétrica e da variação da resistividade do solo (CRUZ et. al., 2010; BENEDI; MUÑOZ-CARPENA, 2005, tradução nossa).

Entre as vantagens em utilizar um sensor resistivo, destaca-se o baixo custo de aquisição, manipulação facilitada e a disponibilidade de estudos sobre o mesmo. Porém, este sensor não apresenta valores totalmente precisos em suas leituras, necessitando de um ajuste manual e aplicação correta no solo, para obtenção de resultados críveis (BENEDI; MUÑOZ-CARPENA, 2005, tradução nossa).

3.5.3 Sensores de luminosidade

Para ter controle sobre a luminosidade que incide em um determinado ambiente, normalmente utiliza-se um resistor dependente de luz, do inglês *Light Dependent Resistor* (LDR). A figura 8 apresenta alguns sensores do tipo LDR.

Figura 8 – Sensores do tipo LDR



Fonte: McRoberts (2011)

Esse tipo de sensor varia seus valores de resistência de acordo com a intensidade de radiação eletromagnética que incide sobre ele. Assim, quanto maior for o índice de luz, menor será a resistência lida. Apesar de não operar em variações muito rápidas de luminosidade, como os raios, o sensor LDR é facilmente capaz de detectar se um ambiente está iluminado ou não, além de ter um custo relativamente baixo (LOUREIRO et. al., 2018).

3.6 ATUADORES

Os atuadores são dispositivos que realizam determinada força física ou qualquer outra ação definida a partir do processo de controle. Seus tipos são variados e dependem do local onde irão atuar, podem ser magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos ou de acionamento misto. Como exemplo tem-se válvulas, motores, relés, aquecedores entre outros (AQUINO, 2013).

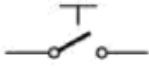

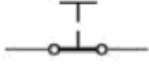
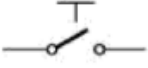
3.6.1 Relés

Um relé é um dispositivo eletromecânico que funciona como um interruptor ou chave eletromecânica, ele é acionado quando detecta a passagem de corrente elétrica por meio de uma bobina. Ao aplicar uma tensão sobre a bobina, uma corrente percorre o circuito criando um campo magnético responsável por acionar o sistema de contatos (RIBEIRO, 2005).

Este sistema (figura 9) pode ser dividido em dois tipos: Normalmente Aberto (NA) e Normalmente Fechado (NF) (FRANCHI, 2018):

- a) NA: O contato por padrão é aberto, ou seja, até que haja uma ação externa o contato permanece em estado aberto;
- b) NF: O contato permanece fechado por padrão até que haja uma ação externa que force a troca de estado.

Figura 9 – Sistema de contatos NA e NF

Sistema de contatos	Desligado	Acionado
NA		
NF		

Fonte: Adaptado de Franchi (2018).

Uma das principais características do relé, é que ele funciona com correntes muito pequenas em relação a corrente que alguns dispositivos exigem. Desta forma, é possível controlar circuitos com correntes altas como motores,

lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos menores como transistores e circuitos integrados (RIBEIRO, 2005).

3.6.2 Bomba d'água

A bomba d'água é utilizada na irrigação para levar uma quantidade específica de água de um ponto a outro. Em conjunto a outros dispositivos, ela pode ser programada para funcionar somente em determinados horários ou condições necessárias.

O equipamento consiste basicamente em um motor giratório, que possui um número de rotações por minuto. Sua escolha depende do tamanho da área irrigada e alcance de funcionamento, é preciso escolher o equipamento adequado para que o processo de irrigação funcione de maneira correta (SANTOS, 2017).

4 TRABALHOS CORRELATOS

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se em trabalhos nacionais e internacionais, que possuem o tema de pesquisa em comum. O foco concentrou-se em projetos que implementaram protótipos de controle para ambientes de cultivo protegido e a utilizaram-se dos conceitos da IoT para elaboração de uma estufa conectada à Internet.

4.1 SISTEMA MICROCONTROLADO PARA ESTUFAS

Esse trabalho foi desenvolvido por Felipe Augusto da Fonseca e Luiz Schmitz na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no ano de 2017. O objetivo deste trabalho é apresentar a viabilidade da construção de um processo automatizado para produção de plantas em estufas.

O projeto desenvolvido trata-se de um protótipo de uma estufa, construída com base no modelo teto em arco. Esta é responsável pelo controle e monitoramento das variáveis temperatura, umidade do ar e umidade do solo, sendo estes parâmetros controlados a partir da abertura e fechamento do teto retrátil instalado na estufa e do acionamento de atuadores responsáveis pela irrigação e ventilação do ambiente.

Os parâmetros lidos por meio dos sensores são comparados aos valores registrados no microcontrolador, que são alterados de acordo com a cultura a qual está sendo cultivada, desta forma o protótipo trabalha junto aos atuadores para manter os valores das variáveis próximos aos valores programados.

Além da automatização da estufa, ou seja, a parte mecânica e elétrica denominada como a parte *hardware* do projeto, foi implementado também, por meio da ferramenta ThingSpeak, uma plataforma para monitoramento dos sensores e atuadores em tempo real na nuvem.

Para avaliar a viabilidade do sistema foi simulado condições de chuva, calor e frio sobre o protótipo, na qual foi cultivado mudas de alface que se desenvolveram de forma natural, dentro do tempo estimado sem o uso de agrotóxicos e fertilizantes.

De acordo com os autores os resultados do projeto foram satisfatórios, uma vez que os objetivos da proposta inicial foram cumpridos, tendo a estufa e a plataforma funcionando dentro dos padrões esperados.

4.2 AUTOMAÇÃO DE ESTUFA AGRÍCOLA INTEGRANDO HARDWARE LIVRE E CONTROLE REMOTO PELA INTERNET

Esse trabalho foi desenvolvido por José Felipe Loureiro, Robison Cris Brito, Fábio Favarim e Eduardo Todt na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no ano de 2018.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de uma estufa automatizada de baixo custo e proporções reduzidas, com foco principal na integração de *software* e *hardware* para criação de uma estufa inteligente. O protótipo é responsável pela irrigação automática das plantas bem como o controle da abertura e fechamento das cortinas laterais, podendo ser acionado de forma manual pelo usuário ou por meio de comandos enviados de forma remota pela aplicação Android. Além da leitura dos parâmetros temperatura, umidade do solo e luminosidade, foi também inserido no projeto uma câmera que tira fotos do crescimento da planta.

Para o controle da estufa foi utilizado um *Raspberry PI* modelo B conectado à Internet junto a dois Arduino Uno, um responsável pelo acionamento dos motores e bomba d'água para irrigação e o outro para leitura dos sensores. Para realizar a comunicação entre o *Raspberry* e o Arduino foi utilizado o protocolo de comunicação serial I2C definindo-os respectivamente como mestre e escravo, permitindo a troca de dados entre os dois lados.

Foi realizado também a implementação de um banco de dados por meio do sistema de gerenciamento MySQL, para registro de dados e históricos dos parâmetros analisados. Já a aplicação Android ficou responsável por diversas funções como a configuração do sistema, visualização do banco de dados, monitoramento dos valores atuais dos sensores e acionamento dos atuadores presentes na estufa.

Segundo os autores, o protótipo funcionou como esperado, sendo utilizado durante uma semana, sem travamentos ou grandes variações na leitura dos sensores, tendo no fim, concluindo o objeto de desenvolver um protótipo de automação de baixo custo.

4.3 SISTEMA DE INTERNET DAS COISAS (IOT) PARA O MONITORAMENTO DE CULTIVOS PROTEGIDOS

Este artigo, intitulado originalmente de Sistema de Internet de Las Cosas (IoT) para el Monitoreo de cultivos protegidos, foi produzido por Jorge E. Gómez, Samir Castaño, Teobaldis Mercado, Jose García e Alexánder Fernández na Universidade de Córdoba na Espanha, no ano de 2017.

O objeto deste artigo consiste no desenvolvimento de um sistema de IoT para o monitoramento de cultivos em ambiente protegido. Este sistema é responsável por coletar informações e parâmetros relacionados com o desenvolvimento e crescimento dessas plantas. Os dados coletados são enviados para um servidor que processa e envia de volta ao usuário as informações necessárias por meio dos protocolos e procedimentos da IoT.

Esses dados são obtidos em tempo real utilizando o protocolo MQTT e por meio da infraestrutura fornecida pela plataforma de hardware livre do Arduino, sendo este controlador dos diferentes sensores. Desta forma, obteve-se a captura de dados em tempo real sobre a porcentagem de umidade do solo, temperatura e umidade relativa do ar, bem como os níveis de radiação ultravioleta que incidem sobre o ambiente.

A interação do usuário com o sistema é realizada por meio de uma página web, que permite o controle e a análise dos dados. As informações obtidas pelo sistema são atualizadas automaticamente. Tratando-se de uma aplicação web o usuário consegue facilmente ter acesso aos dados de diferentes aparelhos, é possível ainda apresentar os dados em forma de gráficos e tabelas.

Os resultados demonstram que o sistema permitiu com que o usuário podesse interagir de forma remota, recebendo alertas e condições específicas. Assim conclui-se que a aplicação desenvolvida foi capaz de prover informações completas sobre os valores dos parâmetros analisados, ajudando o usuário a obter um melhor manejo do cultivo em ambiente protegido (GOMEZ et. al., 2017, tradução nossa).

4.4 DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTUFA CONTROLADA E MONITORADA REMOTAMENTE

Esse trabalho foi desenvolvido por Beatriz Medina Capelli na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo no curso de Engenharia Elétrica no ano de 2014.

Objetivo deste trabalho é propor uma solução de estufa controlada remotamente pela Internet por meio de sensores, atuadores e uma webcam, conectados a dois controladores principais. O protótipo final da estufa deveria ser capaz de controlar as variáveis temperatura, umidade do ar umidade do solo e nível de água no reservatório, além de atuar nos processos de irrigação e iluminação do ambiente.

Para isto, foi utilizado um microcontrolador (Arduino Uno) responsável por controlar os sensores e atuadores e se comunicar por meio de uma interface serial com o segundo dispositivo, um notebook com sistema operacional Linux instalado, onde um programa em Python é executado para estabelecer uma comunicação serial com o microcontrolador e manter a página web funcionando.

Por meio dessa página o usuário recebe informações provindas dos sensores e pode enviar comandos ao microcontrolador por meio de botões dispostos na página, sendo o utilizador capaz de acionar o processo de irrigação e iluminação da estufa bem como, a captura de imagem por meio da webcam.

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que o projeto funcionou como esperado, destacando algumas dificuldades e problemas encontrados pela autora do trabalho.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste na elaboração de um protótipo de controle e monitoramento em uma estufa de hortaliças. Para tal, foi desenvolvido um protótipo de um ambiente fechado semelhante a estrutura de uma estufa, que une *hardware* e *software* aliado aos conceitos de IoT, com foco na redução de custos e sustentabilidade.

Para isso, foi necessário dividir o trabalho em duas etapas principais, a primeira refere-se a montagem do protótipo físico e a instalação do *hardware*, e a outra compreende o *software*, que aborda sobre a programação dos sensores e atuadores, além da conexão com a internet e a página web de controle e monitoramento. Também foi realizado uma série de testes a fim de certificar o funcionamento completo dos sensores e dispositivos utilizados no projeto.

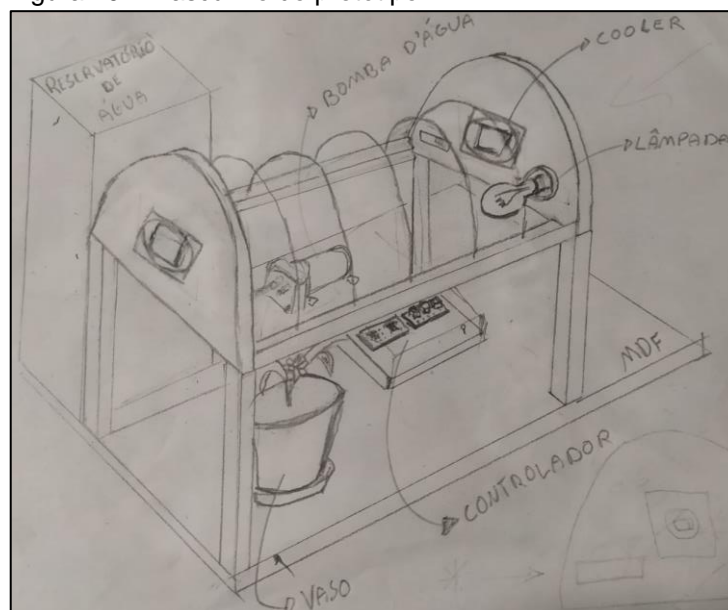
Com a finalização destas etapas, foi possível realizar a análise comparativa entre os cultivos dentro e fora do protótipo, para posterior verificação e discussão dos resultados obtidos.

5.1 PROTÓTIPO FÍSICO

Para a confecção do protótipo, buscou-se utilizar materiais de fácil acesso, reciclados ou de custo relativamente baixo, desconsiderando dispositivos que não compactuam com a proposta do projeto ou de custo excessivamente alto.

Em um primeiro momento, foi elaborado um rascunho simples do protótipo em uma folha A4 (figura 10), para que fosse possível ter uma visão geral da estrutura da estufa com todos os dispositivos instalados, assim optou-se pelo modelo de estufa com teto em arco, adaptada para instalação de ventiladores.

Figura 10 – Rascunho do protótipo



Fonte: Do Autor.

A partir deste rascunho, foi obtido o material necessário para a confecção da maquete, a tabela 2 lista os recursos utilizados nesta etapa.

Tabela 2 – Materiais utilizados na confecção do protótipo físico

Material	Especificações
4x madeira pinus (pés)	24cm de largura x 3cm de altura
3x madeira pinus (laterais)	42cm de largura x 3cm de altura
2x peças de MDF (parte frontal e traseira)	36 cm de largura x 21cm de altura
1x lona plástica	2m
1x mangueira	2m, espessura: 1,6mm
15x abraçadeiras de nylon	15cm
100x percevejos latonados	10,5mm
5x peças de arame (teto em arco)	55cm
1x base de MDF	49 cm de largura x 62 cm de comprimento x 2cm de altura
1x fita isolante	19mm x 10m

Fonte: Do Autor.

Os materiais como as peças de madeira e ferro e os espaços para instalação das ventoinhas foram feitos com a utilização de ferramentas de corte e furadeiras, a fita isolante e as fitas de nylon foram utilizadas para posterior fixação de

cabos e fios, já os percevejos foram usados para cobrir a estufa com a lona plástica, na figura 11 se observa a estrutura base da estufa após o processo de corte e montagem.

Figura 11 – Estrutura base da estufa



Fonte: Do Autor.

Com a parte estrutural pronta, foram instalados todos componentes de *hardware* que fazem parte do protótipo.

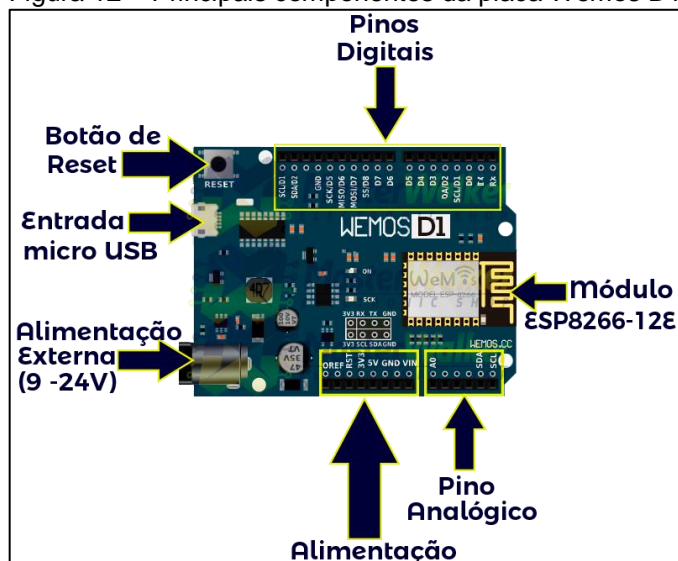
5.1.1 Componentes de hardware

Nesta etapa serão abordados todos os componentes utilizados no protótipo, discutindo suas especificações técnicas e aplicação no projeto.

5.1.1.1 Wemos D1 R2

A placa microcontroladora *Wemos* constitui a base do projeto, sendo responsável por toda a programação do *software*, desde a leitura dos sensores, controle dos atuadores e as páginas web, a figura 12 ilustra a placa, destacando alguns de seus componentes principais.

Figura 12 – Principais componentes da placa Wemos D1



Fonte: Oliveira (2019).

A placa *Wemos* assemelha-se visualmente a placa *Arduino Uno*, possuindo as mesmas dimensões e formato. Seus principais diferenciais estão no microcontrolador utilizado, no conector *micro USB* e na quantidade de pinos analógicos e digitais (OLIVEIRA, 2019). A tabela 3 mostra um comparativo entre as essas duas placas microcontroladoras.

Tabela 3 – Comparativo entre as placas *Wemos D1 R2* e *Arduino Uno*

Especificações	Arduino Uno	Wemos D1 R2
Pinos digitais	14	11
Pinos analógicos	6	1
Faixa de alimentação	7 a 12v	9 a 24v
Velocidade do processador	16MHz	80MHz/160MHz
Memória Flash	32Kb	4Mb
SRAM	2Kb	64Kb
Suporte WiFi nativo	Não	Sim

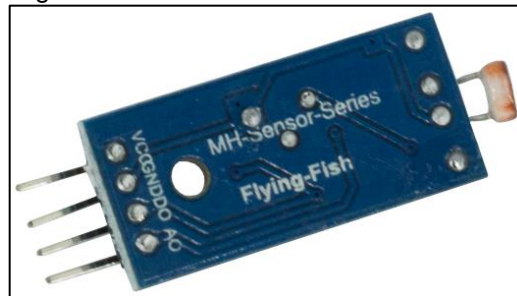
Fonte: Adaptado de Oliveira (2020).

Observa-se que a placa utilizada nesse trabalho possui menor quantidade de pinos digitais e analógicos, entretanto suficiente para o tamanho do projeto, em compensação todas as outras especificações são superiores, incluindo o suporte à tecnologia Wi-Fi presente apenas na *Wemos*.

5.1.1.2 Módulo LDR

Este sensor foi instalado no teto da estufa, local onde pode receber luz solar durante todo o período do dia, a figura 13 mostra os detalhes da pinagem do módulo.

Figura 13 – Módulo LDR



Fonte: Filipeflop (2017).

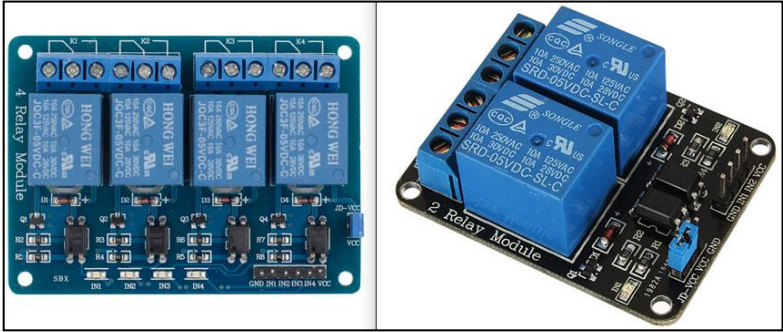
- a) Voltagem em Corrente Contínua, *do inglês Voltage Continuous Current* (VCC): tensão indicada de 3 a 5V;
- b) *Terra, do inglês Ground* (GND): pino terra, conectado ao aterramento do circuito elétrico;
- c) D0: saída digital, pode ser ajustada por meio do potenciômetro presente no módulo, quando a pouca luz o sensor fica em estado alto, do contrário fica em estado baixo;
- d) A0: saída analógica, varia os valores de 0 a 1023mV dependendo da luminosidade que incide sob o sensor.

Uma das vantagens em utilizar um módulo LDR ao invés de um sensor isoladamente, é que o mesmo faz parte de um circuito integrado, que facilita o processo de instalação e a obtenção dos dados por meio de sua saída digital ou analógica.

5.1.1.3 Módulos Relés

Para o controle dos atuadores foram utilizados um módulo relé de quatro canais e outro de dois canais (figura 14), na qual foram conectadas as duas ventoinhas do sistema de ventilação, o umidificador de ar, a bomba d'água e a lâmpada fluorescente.

Figura 14 – Módulo relé quatro canais e dois canais



Fonte: Adaptado de Filipeflop (2017).

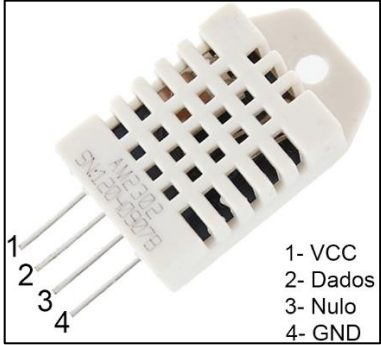
Os módulos relés são fabricados com diversos componentes em uma única placa, permitindo uma fácil integração com os microcontroladores por meio de suas saídas digitais. Sua pinagem consiste basicamente nos pinos de alimentação VCC, GND e os pinos digitais, sendo um para cada relé.

Todos os relés foram conectados em modo NA, ou seja, permanecem desligados até que recebam o comando para o fechamento do circuito, ativando o atuador conectado ao relé específico.

5.1.1.4 Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22

O sensor DHT22 visto na figura 15, consiste em uma versão aprimorada do modelo anterior, DHT11. No projeto foram utilizados dois sensores DHT22 para leitura das variáveis dentro e fora da estufa. A tabela 4 detalha as especificações deste sensor.

Figura 15 – Sensor DHT22



Fonte: Adaptado de Filipeflop (2017).

Tabela 4 – Especificações técnicas do sensor DHT22

Tensão de alimentação	3 a 5v
------------------------------	---------------

Faixa de leitura (Temperatura)	-40 a 80°C
Faixa de leitura (Umidade)	0 a 100%
Precisão Temperatura/Umidade	0.5°C / 5%
Tempo de resposta	2 segundos
Dimensões	15.1mm x 25mm x 7.7mm

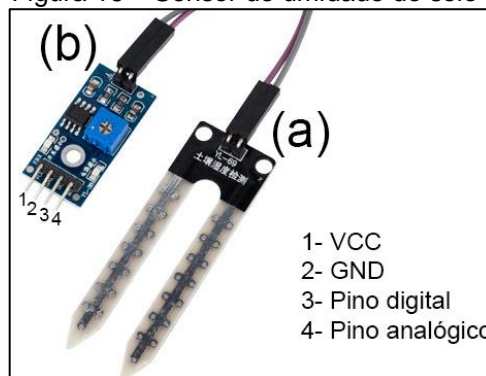
Fonte: Adaptado de Ada (2019).

Os sensores DHT são formados por duas partes, um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medição da temperatura. Há ainda um chip em seu interior, responsável pela conversão analógica para digital, sendo o sinal facilmente interpretado por qualquer microcontrolador. Apesar de possuir um tempo de resposta lento, estes sensores são amplamente utilizados em projetos amadores e estudos acadêmicos para registros básicos de dados (ADA, 2019).

5.1.1.5 Sensor de umidade do solo FC-28

O FC-28 (figura 16) é um sensor de umidade do solo do tipo resistivo, composto por dois eletrodos sensíveis a oscilação de condutibilidade (a), junto a um módulo (b) comparador de tensão LM393, que simplifica o processo de conversão de sinal com o dispositivo microcontrolador.

Figura 16 – Sensor de umidade do solo FC-28



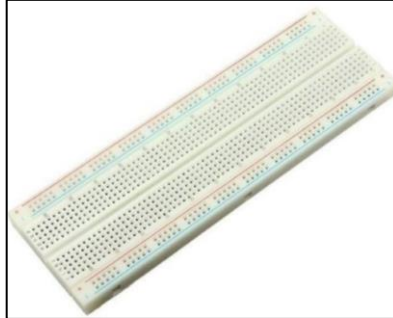
Fonte: Adaptado de Filipeflop (2017).

Utiliza-se duas sondas que são inseridas dentro do solo, passando um valor de corrente elétrica, a partir da leitura que se faz da resistência dessa corrente obtém-se o valor da umidade do solo. Este sensor pode ser utilizado em diferentes tipos de solo, ou até mesmo na água (MCROBERTS, 2011).

5.1.1.6 Protoboard

Trata-se de uma peça de plástico perfurada em que são conectados os componentes, tendo-se por baixo da perfuração pequenas tiras de um condutor metálico (figura 17).

Figura 17 – Protoboard de 830 furos



Fonte: Filipeflop (2017).

Nesta perfuração são conectados os jumpers (fios condutores) e demais componentes compatíveis, permitindo assim a montagem do circuito de forma facilitada e sem a necessidade de soldagem.

5.1.1.7 Reservatório de água

Para armazenar a água utilizada no processo de irrigação, foi adaptado um reservatório de radiador de um carro antigo. A figura 18 mostra o reservatório e as conexões com a mangueira.

Figura 18 – Reservatório de água



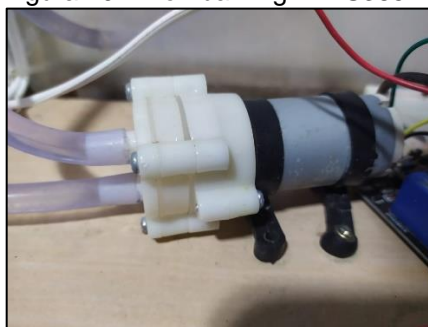
Fonte: Do autor.

O mesmo foi utilizado por ser um material de fácil acesso e possuir duas entradas para a mangueira, além de uma tampa que evita o acúmulo de impurezas na água. Com este formato, foi possível criar um fluxo de água que reabastece o reservatório num ciclo fechado, a água circula pela mangueira e volta diretamente para o reservatório pela entrada superior, sendo uma solução sustentável para o consumo de água.

5.1.1.8 Bomba-d'água RS385

Componente principal do processo de irrigação, a bomba-d'água RS385 (figura 19) é responsável pelo fluxo de água do reservatório até o vaso com o plantio, a mangueira de cima leva a água até o vaso, enquanto a de baixo faz a sucção da água do reservatório.

Figura 19 – Bomba-d'água RS385



Fonte: Do autor.

As principais características técnicas dessa bomba-d'água podem ser vistas na tabela 5.

Tabela 5 – Especificações técnicas da bomba-d'água RS385

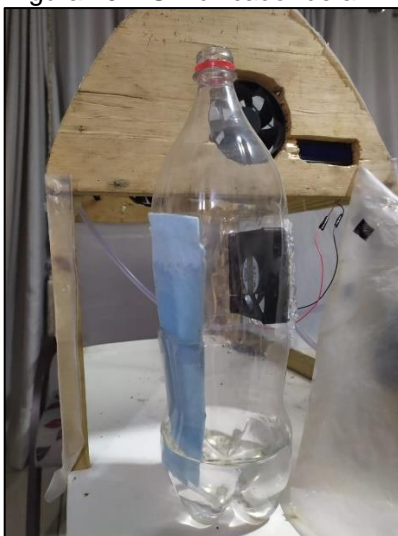
Tensão de trabalho	6 a 12v
Corrente de operação de carga	0.5 a 0.7 ^a
Elevação máxima	3m
Vazão de água máxima	2l/m
Diâmetro de entrada e saída	6mm
Tamanho	86 x 43mm
Tempo de vida	2500hrs

Fonte: Adaptado de Belchip (2018, tradução nossa).

5.1.1.9 Umidificador de ar

Elaborado a partir de materiais reciclados, o umidificador de ar caseiro (figura 20) utilizado neste projeto é composto por uma garrafa pet com dois furos, uma ventoinha de um computador e pedaços de algodão cortados em tiras e fixados com cola-quente.

Figura 20 – Umidificador de ar



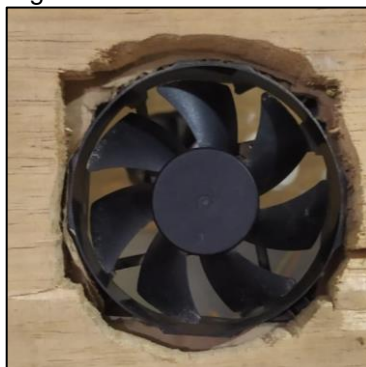
Fonte: Do autor.

Seu funcionamento se dá pela retirada de ar do ambiente por meio da ventoinha que o conduz até o interior da garrafa. Uma vez dentro da garrafa, o ar acelera o processo de capilaridade da água pelas tiras de algodão, sendo novamente devolvido ao interior da estufa com pequenas gotículas de água, desta forma aumentando a umidade do ambiente.

5.1.1.10 Ventoinhas

Para o sistema de ventilação da estufa foram utilizadas duas ventoinhas exatamente iguais, reaproveitadas de fontes de computadores. A figura 21 ilustra a ventoinha da parte frontal da estufa.

Figura 21 – Ventoinha frontal



Fonte: Do autor.

Para uma melhor vedação, fixou-se atrás das ventoinhas um pedaço de papelão de tamanho suficiente para cobrir a abertura.

5.1.1.11 Lâmpada fluorescente

Para iluminação artificial da estufa foi utilizado uma lâmpada fluorescente (figura 22) de baixa luminosidade.

Figura 22 – Lâmpada fluorescente



Fonte: Do autor.

Em suas especificações, a lâmpada apresenta uma temperatura de cor de 6400k, 5w de potência e 60Hz de frequência.

5.2 TESTES PRÉ-CULTIVO

Precedente a etapa de desenvolvimento da aplicação web, foram realizados uma série de testes no protótipo a fim de garantir que os sensores e atuadores estivessem funcionando da maneira correta. Além disso, pretendeu-se utilizar outros dispositivos para compor o protótipo, entretanto por terem apresentado um funcionamento não satisfatório foram descartados da versão final do projeto.

De acordo com a fabricante os sensores DHT22 já são calibrados e prontos para uso. Para comprovar o seu funcionamento, os mesmos foram expostos a diferentes temperaturas e ambientes e como apresentaram valores compatíveis com a realidade, puderam ser utilizados sem maiores problemas. Já os sensores de umidade do solo e de luminosidade foram ajustados manualmente por meio da faixa de valores e pelo potenciômetro no caso do sensor LDR.

5.2.1 Testes de umidade do solo

Anterior a escolha do sensor FC-28, foi testado um outro sensor capacitivo (figura 23) para medir a umidade do solo.

Figura 23 – Sensor capacitivo de umidade do solo



Fonte: Filipeflop (2018).

Este sensor apresenta especificações e custo superior ao FC-28, entretanto sua utilização foi descartada logo no início dos testes, pois o mesmo apresentava valores distintos para um mesmo ambiente simulado, tratando-se de uma possível falha no equipamento.

Para mensurar a umidade do solo, foi realizado o mesmo teste nos dois sensores, a tabela 6 apresenta os valores lidos pelo sensor FC-28, que foi utilizado no protótipo final.

Tabela 6 – Valores de umidade do solo lidos no sensor FC-28

Valor lido	Ambiente
Acima de 1000ma	No ar
Entre 1000 e 800ma	No vaso com terra seca
Abaixo de 800 e maior que 500ma	No vaso com terra moderadamente úmida
Abaixo de 500ma	No vaso com terra úmida
Abaixo de 350ma	Imerso em água

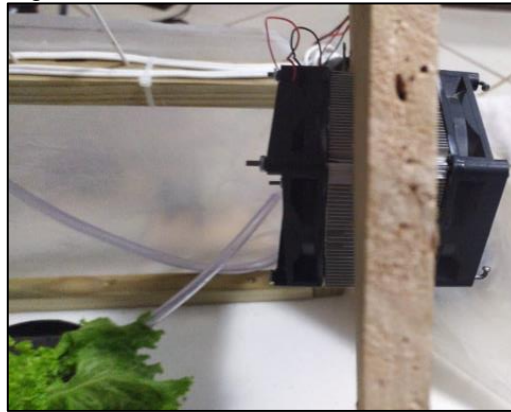
Fonte: Do autor.

Como pode ser observado na tabela 6, o sensor FC-28 apresentou uma mesma faixa de valores para determinado ambiente na qual estava inserido, todavia, no sensor capacitivo os valores lidos muitas vezes não possuíam uma mesma faixa de valores, apresentando valores distintos para o mesmo ambiente simulado, tornando-o assim inutilizável para este projeto.

5.2.2 Teste de controle de temperatura

Visto que em dias de calor intenso o interior da estufa alcançava elevadas temperaturas foi elaborado um método de resfriamento com o uso de uma pastilha de Peltier, dois dissipadores e duas ventoinhas. A figura 24 demonstra o equipamento, a pastilha de Peltier se encontra no meio dos dois dissipadores, seu lado frio fica virado para o cooler da esquerda, enquanto o lado quente fica para fora da estufa.

Figura 24 – Método de resfriamento com Peltier



Fonte: Do autor.

Este mesmo método foi implementado no trabalho de Capelli (2014), que também apresentou problemas no resfriamento do ambiente, tendo nenhuma ou pouca mudança de temperatura, apesar da utilização de diferentes materiais, tamanho e formato do ambiente. Assim ao final dos testes foi optado apenas por utilizar o sistema de ventoinhas.

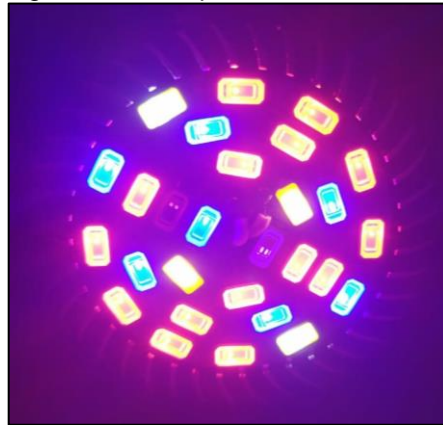
5.2.3 Display LCD

A ideia inicial do protótipo continha um display de LCD na parte frontal da estufa, que permitiria a visualização dos dados de forma offline, porém seu uso junto a outros dispositivos por vezes causava interferências nas mensagens apresentadas em tela, por este motivo optou-se por não o utilizar no protótipo final.

5.2.4 Lâmpada Led Grow 28w

Na pesquisa por iluminação artificial para produção de plantas, encontrou-se uma lâmpada (figura 25) composta por diversos pequenos LEDs de diferentes cores, que tem como função estimular todas as fases de crescimento das plantas. Entretanto, após alguns dias de sua utilização notou-se um ressecamento nas pontas das folhas de alface.

Figura 25 – Lâmpada Led Grow 28w



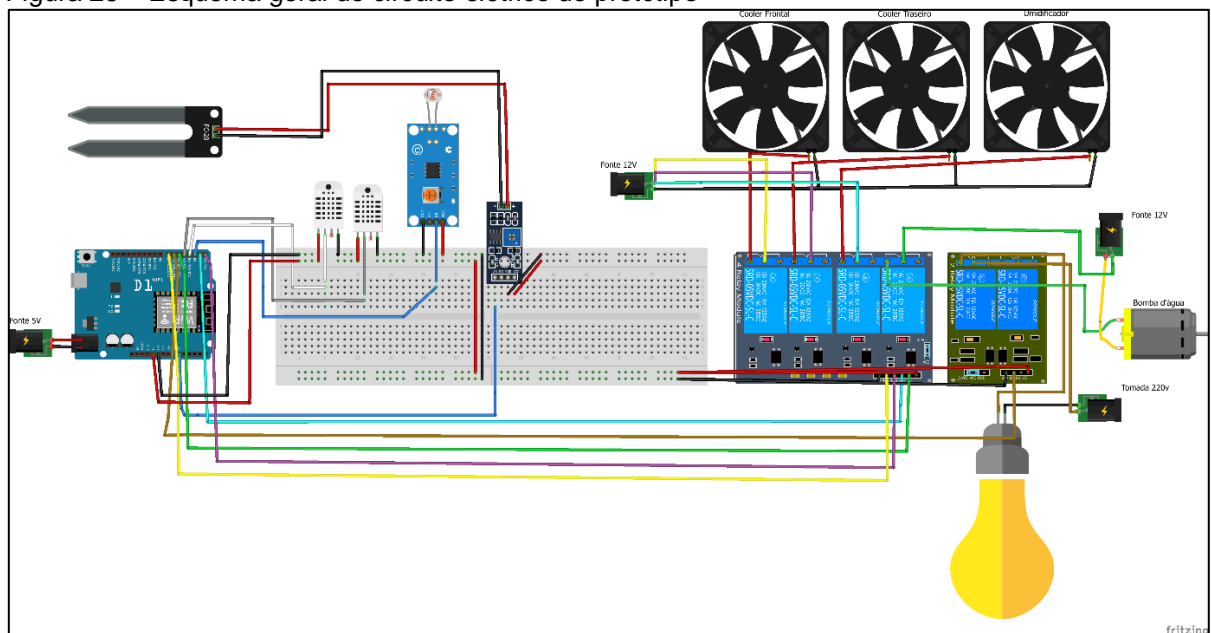
Fonte: Do autor.

Dado este fato, optou-se por utilizar uma lâmpada fluorescente de menor potência, visto que o protótipo construído tem tamanho reduzido e a potência da lâmpada pode não ser compatível com a estrutura montada.

5.2.4 Esquema elétrico

Com a finalização dos testes foi montado o esquema de ligação do circuito elétrico com os componentes utilizados na versão final do protótipo, como pode-se observar na figura 26, este foi elaborado por meio do *software Fritzing* na versão 0.8.7b.

Figura 26 – Esquema geral do circuito elétrico do protótipo



Fonte: Do autor.

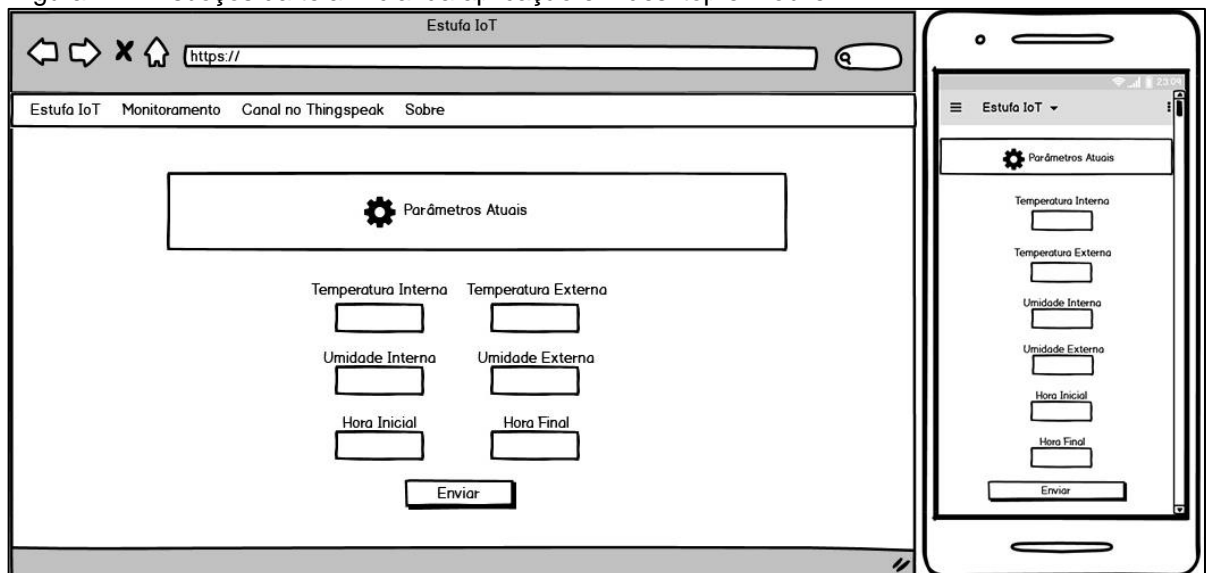
Para alimentar o protótipo foram utilizadas três fontes, sendo uma fonte de 5v para alimentação da placa controladora, outra fonte de 12v para alimentar todas as ventoinhas e uma terceira fonte de 12v que alimenta sozinha a bomba-d'água. As conexões com as portas digitais e analógicas na placa podem ser vistas no apêndice A.

5.3 APLICAÇÃO WEB DE CONTROLE E MONITORAMENTO

Com o ambiente físico pronto e os testes do protótipo já concluídos, foram então elaborados os esboços da tela inicial da aplicação em versões para telas maiores e dispositivos portáteis.

Para o desenvolvimento das telas, foi utilizado o conceito de design responsivo, que de acordo com Longen (2017) consiste na prática de tornar qualquer página na internet acessível por meio de qualquer dispositivo, independente da sua resolução de tela. A figura 27 ilustra as telas desenvolvidas com o uso do *software Balsamiq Wireframes* na versão 4.0.38.

Figura 27 – Esboços da tela inicial da aplicação em desktop e mobile



Fonte: Do autor.

A partir da criação das telas teve-se uma visão melhor sobre quais seriam as variáveis controladas pelo usuário bem como as disposições dos elementos em tela como o menu principal, os campos de *input* (entrada), botões e ícones.

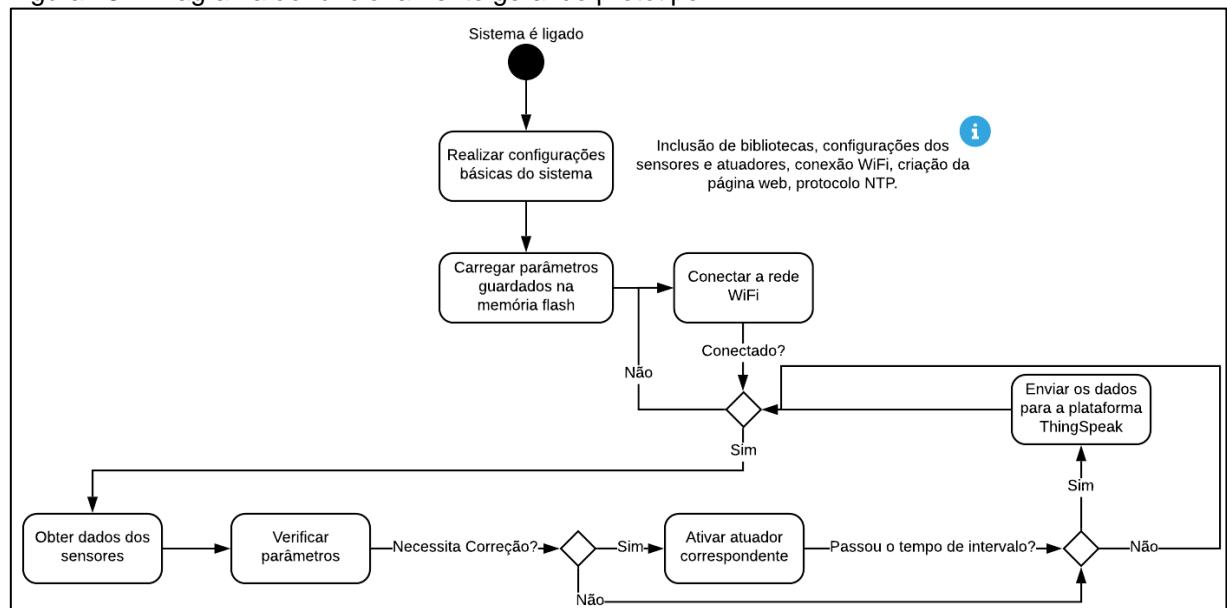
A programação *front-end* das páginas web foram desenvolvidas por meio do *software Visual Studio Code* na versão 1.46.1. A implementação desses códigos foi posteriormente transferida para o *Arduino IDE*, no qual é compilado e então carregado para a placa microcontroladora.

5.3.1 Programação do microcontrolador

Utilizou-se o *software Arduino IDE* na versão 1.8.12, com as bibliotecas compatíveis com os sensores e atuadores utilizados no projeto. Para tal foi necessário configurar a IDE, para que a mesma reconhecesse a placa Wemos, o chip ESP8266 e as bibliotecas utilizadas (apêndice B).

Para estruturar a programação do protótipo, elaborou-se um diagrama (figura 28) na qual é demonstrado as etapas de funcionamento geral.

Figura 28 – Diagrama do funcionamento geral do protótipo



Fonte: Do autor.

Quando ligado, o microcontrolador efetua as devidas configurações iniciais e então carrega os últimos parâmetros inseridos na memória flash do microcontrolador, posteriormente tenta-se a conexão com a Internet. Após conectado o programa entra em um loop de programação, na qual obtém os dados dos sensores e verifica se algum valor necessita de correção, para então acionar o atuador correspondente e por fim enviar os dados atuais a plataforma web.

5.3.1.1 Controle de luminosidade

Composto por uma lâmpada fluorescente conectada a um módulo relé e um sensor LDR, o controle de luminosidade funciona por meio de dois parâmetros, as horas em que deve permanecer ligado, definidas pelo usuário por meio da página web, e pela detecção ou não de luz no sensor. A lâmpada da estufa só permanecerá acesa quando não é detectado nenhuma fonte de luz externa e a hora atual deve estar entre as horas definidas na aplicação web.

5.3.1.2 Controle de temperatura e umidade relativa do ar

Atua com base nos dois sensores DHT22 junto as ventoinhas instaladas na parte frontal e traseira da estufa, conectadas aos seus respectivos relés. Para diminuir a temperatura no interior da estufa é necessário que as condições externas sejam propícias, quando a temperatura é maior que a permitida e o umidificador de ar encontra-se desligado os dois coolers são automaticamente ligados.

Para diminuir a umidade a ventoinha traseira é acionado de forma isolada, retirando o ar úmido de dentro da estufa. Já para aumentar a porcentagem de umidade no interior da estufa é acionado o umidificador de ar caseiro, este processo tem prioridade sobre os demais, e quando acionado todos outros relés são desligados.

5.3.1.3 Controle de umidade do solo

O controle da umidade do solo é feito por meio do processo de irrigação, que funciona com base na leitura do sensor resistivo de umidade do solo, enquanto o sistema detecta que a umidade do solo se encontra em nível seco, inicia-se o processo de irrigação, ligando a bomba d'água. O nível de umidade é definido de acordo com os valores apresentados na tabela 6.

A irrigação acontece por gotejamento, a bomba-d'água conduz a água do reservatório para a mangueira, que irriga a planta por pequenos furos, devolvendo o restante da água para o reservatório. Este processo leva cerca de 30 segundos para ser concluído e pode ser repetido num intervalo de 5 minutos, caso ainda seja necessário irrigar a planta.

5.3.1.4 Página de controle e monitoramento

Compõe a maior parte da programação do protótipo, por meio da página de controle (figura 29) o usuário pode consultar e inserir novos parâmetros referentes a temperatura e umidade mínima e máxima, além das horas em que o controle de luminosidade deve permanecer ligado ou desligado.

Figura 29 – Página de controle do sistema

Estufa IoT Monitoramento Canal no ThingSpeak Sobre

Parâmetros atuais

Temperatura Mínima:	Temperatura Máxima:	Umidade Mínima:	Umidade Máxima:	Hora Inicial:	Hora Final:
15°C	25°C	60%	70%	6:00	19:00

Temperatura Mín Temperatura Max

Umidade Mín Umidade Max

Hora Inicial Hora Final

Enviar Parâmetros

Fonte: Do autor.

Quando aceitos, os novos parâmetros são enviados imediatamente a placa microcontroladora, que salva os dados permanentemente em sua memória flash, desta forma é possível reiniciar o *software* sem precisar configurá-lo novamente.

A página de monitoramento (figura 30) busca em um intervalo de cinco segundos novas leituras das variáveis e as apresenta em tela.

Figura 30 – Página de monitoramento do sistema



Fonte: Do autor.

Além disso, por meio dessa página é possível saber quais atuadores estão em funcionamento, e quanto tempo falta até seja realizada uma nova tentativa de irrigação e o envio de dados para a plataforma em nuvem.

5.3.2 Thingspeak

O Thingspeak é uma plataforma de IoT de código aberto que foi lançada em 2010 pela ioBridge como um serviço de suporte para aplicativos de IoT. A plataforma oferece funções de análise que permitem agregar, visualizar e acompanhar fluxos de dados em tempo real na nuvem (THINGSPEAK, 2020, tradução nossa).

O Thingspeak oferece uma gama de recursos, alguns de seus principais incluem os seguintes (THINGSPEAK, 2020, tradução nossa):

- a) configuração facilitada dos dispositivos utilizando protocolos gerais de IoT;
- b) visualização dos dados coletados em tempo real;
- c) agregação de dados sob solicitação de fontes de terceiros;
- d) análise automática da IoT com base em eventos ou agendamentos;
- e) prototipagem de sistemas de IoT sem a necessidade de configurar servidores ou desenvolver *softwares*;
- f) integração com serviços de terceiros como Twitter e Twilio.

Por meio da plataforma criou-se um canal denominado Estufa IoT que ficou responsável por receber os dados lidos pelos sensores e armazená-los num intervalo de cerca de um minuto.

Para que seja possível o envio de dados, a plataforma Thingspeak disponibiliza um conjunto de rotinas e padrões, por meio de uma Interface de Programação de Aplicativos, do inglês *Application Programming Interface* (API) de escrita e leitura, além de uma biblioteca com funções prontas e compatíveis com a Arduino IDE. para a realização deste procedimento foi necessário apenas identificar o ID no canal e a chave de escrita usada para o envio de dados e acesso ao canal.

5.4 RESULTADOS

Com a definição dos parâmetros comparativos e a realização do cultivo dentro e fora do protótipo foi possível realizar a coleta de resultados e obter também uma análise sobre os custos do projeto comparando-o a outros trabalhos correlatos.

Os dados coletados foram armazenados em planilhas do *software* Microsoft Excel versão 2013 para posterior análise no *software* IBM *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 21.0. Os resultados foram expressos por meio de média e desvio padrão.

As análises inferenciais foram realizadas com nível de significância $\alpha = 0,05$ e, portanto, confiança de 95%. A distribuição da temperatura e da umidade foram avaliadas quanto à normalidade por meio da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov. A comparação das médias de temperatura e umidade interna e externa à estufa foram realizadas por meio da aplicação do teste U de Mann-Whitney.

5.4.1 Análise comparativa entre o cultivo realizado dentro e fora do protótipo

A planta escolhida para o cultivo foi a *Lactuca sativa*, popularmente conhecida como alface, em específico a alface da variedade crespa.

O cultivo foi adquirido de um produtor da região, assim como os insumos para o seu plantio. As alfaces foram postas em vasos, sendo mudas já em fase de crescimento, e então foram observadas e cultivadas por um período de um mês, na figura 2 tem-se a comparação dos cultivos dentro (a) e fora da estufa (b).

Figura 31 – Comparação do crescimento dos cultivos



Fonte: Do autor.

A temperatura foi em média menor dentro da estufa, já a umidade relativa do ar foi em média maior dentro da estufa. Ambas inferências foram consideradas estatisticamente significativas ($p < 0,001$) (tabela 7).

Tabela 7 – Parâmetros avaliados interna e externamente em relação à estufa.

	Média \pm DP		Valor-p
	Interna	Externa	
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	17,94 \pm 4,28	18,25 \pm 4,76	<0,001
Umidade (%)	75,18 \pm 10,92	68,37 \pm 14,11	<0,001

Fonte: Do autor.

Salienta-se que durante o período de cultivo a estufa ficou a maior parte do tempo em local sombreado, o que pode ter favorecido para uma baixa temperatura externa. Observa-se ainda, que ao final do plantio os cultivos apresentaram algumas características distintas. A alface plantada no interior da estufa possui menos folhas, mas maiores e mais largas, enquanto a alface cultivada do lado de fora da estufa apresentou um tamanho menor e folhas mais murchas.

5.4.2 Custos do projeto

Para uma avaliação sobre os custos do projeto, formulou-se uma tabela com todos os componentes presentes na versão final do protótipo. Tais materiais foram adquiridos em sua maioria por meio da internet e outros em lojas de varejo na cidade de Jaguaruna nos anos de 2019 e 2020.

Tabela 8 – Lista de componentes x preço

Componente	Preço (R\$)
Wemos D1 R2	58,90
Sensor de umidade do solo FC-28	9,90
Sensor de Luz (LDR)	7,90
2x Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22	51,98
Kit bomba-d'água + mangueira + fonte 12V	59,29
Lâmpada fluorescente	12,50
Fonte 5V	14,99
Fonte 12V	14,99
Filtro de linha 5 tomadas	20,00
Protoboard 830 furos	16,90
100x abraçadeiras de nylon	10,15
100x percevejos latonados	1,90
40x jumpers macho-macho	8,40
40x jumpers macho-fêmea	9,90
Módulo relé 4 canais	21,90
Módulo relé 2 canais	12,90
1x fita isolante	4,90
Outros custos (frete, ferramentas e matérias-primas)	100,00
Total	437,40

Fonte: Do autor.

Como observado na tabela 8, o custo do projeto ficou abaixo dos custos relatados nos trabalhos de Fonseca e Schmitz (2017) e de Loureiro et al (2018), tendo uma redução de cerca de 27,88% em relação ao primeiro, e aproximadamente 14,31% comparado ao segundo. Devido ao fato deste trabalho utilizar materiais reciclados e ter adquirido os cultivos e insumos do plantio de forma gratuita, é possível concluir que houve uma considerável redução de custos nesta etapa.

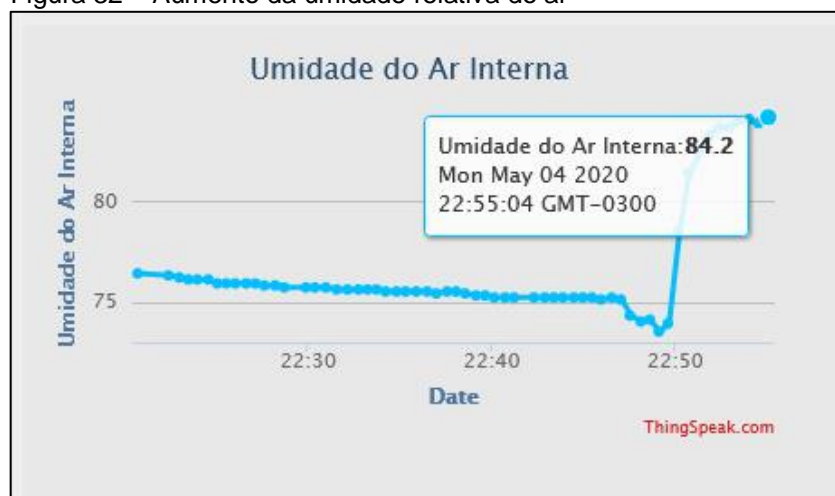
5.4.3 Discussões

Com os resultados dos testes de hardware e a análise comparativa entres as alfaces cultivadas, foi possível observar que o protótipo da estufa respondeu de forma satisfatória, atendendo o propósito de ser um objeto de IoT capaz de armazenar e processar dados e funcionar de forma autônoma, uma vez que tenha sido configurado.

A utilização da plataforma Thingspeak foi fundamental para o armazenamento de dados e acompanhamento da leitura dos sensores em tempo real, com isto, foi possível perceber falhas e alterações bruscas nas variáveis controladas e assim ganhar tempo para possíveis correções e alterações no protótipo.

Com o acionamento do umidificador como parte de um teste de eficácia, pode-se notar um aumento em cerca de 20% no intervalo de pouco menos de 5 minutos de funcionamento, como mostra o gráfico da figura 32.

Figura 32 – Aumento da umidade relativa do ar



Fonte: Do Autor.

Deste modo, entende-se que a criação de um umidificador de ar caseiro para o aumento da umidade no interior da estufa, provou-se uma solução eficaz, visto a rápida elevação da umidade, porém em dias de calor intenso é possível que o mesmo não atinja a umidade ideal, dado que sua taxa de aumento seja cerca de 20%.

Outro ponto positivo do projeto, foi a capacidade em manter a umidade do solo constantemente úmida, já que o mesmo é irrigado assim que detectado o estado de umidade seco, de acordo com a faixa de valores da tabela 6, favorecendo então o crescimento constante do cultivo.

Apesar de o protótipo responder de forma satisfatória, durante o período de cultivo surgiram alguns problemas com relação a parte elétrica do protótipo, sendo preciso realizar pequenas manutenções e pausas no seu funcionamento. Outros problemas incluem a corrosão do sensor de umidade do solo, que no decorrer do tempo pode alterar a precisão dos valores lidos, o acúmulo de poeira nas ventoinhas e na lona plástica, necessitando de manutenção semanal e a dificuldade de controlar os parâmetros em dias de condições atípicas da natureza.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se o processo de desenvolvimento de um protótipo para o controle e monitoramento aplicado em uma estufa de hortaliças utilizando a placa microcontroladora Wemos D1 e uma extensão de componentes de *hardware* e *software*.

Inicialmente o projeto passou por uma fase de testes em diferentes ambientes e condições, a fim de checar o funcionamento completo do protótipo, descartando algumas ideias e dispositivos que não obtiveram um funcionamento de forma satisfatória. Após essa etapa, com as implementações de *software*, e a estrutura final pronta, o protótipo entrou em fase prática, permanecendo em funcionamento por praticamente um mês sem grandes interrupções.

O protótipo desenvolvido, bem como a aplicação web, funcionaram na medida do que era esperado, tendo em vista a proposta inicial do projeto, bem como o custo financeiro para sua elaboração, assim é possível afirmar que o trabalho teve seus objetivos propostos concluídos de forma satisfatória. O protótipo final apresentou um custo dentro da proposta e menor que os apresentados nos trabalhos correlatos, provando-se rentável e plausível dentro da realidade.

Dentre as dificuldades encontradas, menciona-se a manipulação de dispositivos físicos e esquemas elétricos, que sua vez podem apresentar problemas e erros ocultos do ponto de vista e conhecimento técnico do autor.

Com base nos recursos utilizados neste projeto, dado também sua versatilidade de uso e aplicações, propõe-se que trabalhos futuros possam utilizar algumas das tecnologias aqui apresentadas para criação de protótipos de controle e monitoramento específicos para um determinado parâmetro, desta forma é possível investir em recursos e equipamentos melhores, já que por vezes a qualidade do produto está diretamente relacionada ao seu custo.

Entre as melhorias futuras sugeridas para este protótipo, cita-se a criação de um processo de resfriamento e aquecimento adequado com as pastilhas de Peltier, a possibilidade do acionamento ou controle manual dos parâmetros e a utilização de um banco de dados para o cadastro de parâmetros pré-definidos.

REFERÊNCIAS

- ABCSEM. **ABCSEM - Campanha para incentivar aumento do consumo de hortaliças no país - Projeto Alimentação + Salada**. 2020. Disponível em: <https://www.abcsem.com.br/noticias/3367/abcsem-campanha-para-incentivar-aumento-do-consumo-de-hortalicas-no-pais-projeto-alimentacao-salada>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- ADA, Lady. **DHT11 DHT22 and AM2302 Sensors**. Adafruit Learning System, 2019. Disponível em: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.
- AQUINO, Henrique Guilherme. **Estufa automatizada para cultivo de plantas: sistema de Coleta de dados**. CONIC – Congresso Nacional de Iniciação Científica. 2013.
- ARDUINO. **Arduino - Introduction**. 2019. Disponível em: <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 30 maio 2019.
- BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. **Primeiros Passos com o Arduino: A plataforma de prototipagem eletrônica open source**. 2. ed. Novatec Editora, 2015.
- BENEDÍ, J. A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Soil-water-solute process characterization: an integrated approach. Florida: CRC Press, 2005. 787 p.
- BEVILACQUA, Helen Elisa C. R. **Classificação das hortaliças**. Prefeitura do Município de São Paulo. 2006. BH CULTIVANDO AGRICULTURA URBANA. Projeto da Semente à Mesa. Disponível em: https://ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2013/09/02manualhorta_1253891788.pdf Acesso em 20 abr de 2019.
- CAMPAGNOL, Rafael; MELLO, Simone da Costa; PINHEIRO, Renes Rossi. **Cultivo de Hortaliças em Ambiente Protegido**. Curitiba: Senar-PR, 2015. 87 p.
- CAPELLI, Beatriz Midena. Desenvolvimento de uma estufa controlada e monitorada remotamente. 2014. p.77. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/97/970010/tce-20022015-140355/publico/Capelli_Beatriz_Midena.pdf. Acesso em: 16 de jul de 2020.
- CISCO. **Cisco Edge-to-Enterprise IoT Analytics for Electric Utilities Solution Overview**. 2018. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/big-data/solution-overview-c22-740248.html>. Acesso em: 14 jun. 2020.
- CRUZ, Tadeu ML et al. **Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p. 33-45, 2010.
- CGE: Centro de Gerenciamento de Emergências. **Umidade Relativa do Ar**, 2015. Disponível em: <http://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>. Acesso em: 06

de mar de 2019.

CLEMENTE, Flávia MVT; HABER, Lenita Lima. **Horta em pequenos espaços**. Embrapa, 2012.

CNA. **Balanço 2017 Perspectivas 2018**. Brasília: CNA. 2017. Disponível em: https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/hortalicas_balanco_2017.pdf Acesso em: 27 abr de 2019.

ESPRESSIF. **About Expressif**. 2019. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/company/about-us/who-we-are>. Acesso em: 22 jun. 2020.

EVANS, Dave. **A Internet das Coisas: como a próxima evolução da Internet está mudando tudo**. CISCO IBSG, 2011.

FACCIONE FILHO, Mauro. **Internet das coisas**. Unisul Virtual, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319881659_Internet_das_Coisas_Internet_of_Things. Acesso em: 25 maio. 2019

FONSECA, Felipe Augusto da; SCHMITZ, Luiz. **Sistema microcontrolado para estufas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8828> Acesso em: 22 jul. 2020.

GÓMEZ, E. Jorge et al. **Sistema de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos**. Ingenieria e Innovacion, v. 5, n. 1, 2017.

GUEDES, Italo M. R. **Por que agricultura em ambiente protegido no Brasil?** 2017. Disponível em: <http://scienceblogs.com.br/geofagos/2017/10/por-que-agricultura-em-ambiente-protegido-no-brasil/>. Acesso em: 13 mai. 2019.

HENZ, Gilmar Paulo; ALCANTARA, Flávia Aparecida. **Hortas: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2009.

HOPKINS, W. G. **Photosynthesis and Respiration**. [s.l.] Infobase Publishing, 2006.

IBGE, **Censo agropecuário 2017: Horticultura** (Número de estabelecimentos agropecuários e Quantidade produzida, por produtos da horticultura - resultados preliminares 2017). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6619> Acesso em: 07 abr. 2019.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). Telecommunication Standardization Sector Of Itu. **Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks**. Geneva, 2012. 22 p. Disponível em: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>. Acesso em: 26 abr. 2019.

KERSCHBAUMER, Ricardo. **Engenharia de controle e Automação Microcontroladores**. 2013. Disponível em:

<http://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

KOLBAN, Neil. **Kolban's Book on ESP8266**. Texas, 2016. 436p.

LANDSBERG, Joseph John; WHITE, Barry; THORPE, M. R. **Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environments**. Journal of agricultural engineering research, v. 24, n. 1, p. 29-39, 1979.

LONGEN, Andrei. **O Que é Design Responsivo e Por Que seu Site Precisa Ter**. 2019. Disponível em: <https://www.weblink.com.br/blog/o-que-e-design-responsivo>. Acesso em: 30 jun. 2020.

LOUREIRO, José Felipe et al. **Automação de estufa agrícola integrando hardware livre e controle remoto pela internet**. Revista de Computação Aplicada ao Agronegócio, v. 1, n. 1, p. 38-55, 2018.

MANCINI, Mônica. **Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios**. 2017. Disponível em: <https://pmisp.org.br/documents/acervo-arquivos/241-internet-das-coisas-historia-conceitos-aplicacoes-e-desafios/file>. Acesso em: 06 de outubro de 2018.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

_____. **Arduino básico**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015.

MONK, Simon. **Movimento, luz e som com Arduino e Raspberry Pi**. Novatec Editora, 2016.

MOTA, Allan. **LM35 - MEDINDO TEMPERATURA COM ARDUINO**. 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/lm35-medindo-temperatura-com-arduino/>. Acesso em: 10 maio 2019.

FIGUEIREDO Gilberto; MIURA, Maximiliano. **Produção em Ambiente Protegido em São Paulo: Atuação da Secretaria de Agricultura Favoreceu a Expansão**. CASA DA AGRICULTURA: Produção em Ambiente Protegido. Campinas, São Paulo, nº 2, p.40-40, abr./mai./jun. 2011.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. Saraiva Educação SA, 2018.

OLIVEIRA, Euler. **Conhecendo a Wemos D1**. 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/wemos/conhecendo-a-wemos-d1/>. Acesso em: 23 jun. 2020.

OLIVEIRA, Sérgio. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. Novatec Editora, 2017.

PELLINI, Eduardo Lorenzetti. **Introdução a Automação de Sistemas**

Elétricos: Conceitos básicos. 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/61824180-Introducao-a-automacao-de-sistemas-eletricos.html>. Acesso em: 20 maio 2019.

PINHEIRO, Cleusa. **Produção em Ambiente Protegido em São Paulo:** Atuação da Secretaria de Agricultura Favoreceu a Expansão. CASA DA AGRICULTURA: Produção em Ambiente Protegido. Campinas, São Paulo, nº 2, p.40-40, abr./mai./jun. 2011.

PURQUERIO, Luis Felipe Villani; TIVELLI, Sebastião Wilson. **Manejo do ambiente em cultivo protegido.** Manual técnico de orientação: projeto hortalimento. São Paulo: Codeagro, p. 15-29, 2006.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação.** 5. ed. Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2005.

RODRIGUES, Paula. **Agricultura protegida:** cooperação prevê avanços tecnológicos no cultivo protegido de hortaliças. Hortaliças em Revista. EMBRAPA HORTALIÇAS. Ano IV, nº 17, set-2015.

SANTOS, Vitor. **Bombas:** Para que servem na irrigação. 2017. Disponível em: <https://www.irrigacao.net/irrigacao/bombas-para-que-servem-na-irrigacao/>. Acesso em: 10 maio 2019.

SANTOS, P. Bruno et. al. **Internet das coisas:** da Teoria à Prática. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016.

SANTOS, Leão Lucas; SEABRA JUNIOR, Santino; NUNES, Moitinho Cândida Maria. **Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido.** Revista de Ciências Agro-Ambientais, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura:** a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 6. ed. Guaíba: Agropecuária, 1997. 342p.

SILVA, B. A.; SILVA, AR da; PAGIUCA, L. G. **Cultivo protegido:** em busca de mais eficiência produtiva. Hortifruti Brasil, v. 1, p. 10-18, 2014. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat_capa.pdf Acesso em: 8 de setembro de 2018.

SOUSA, Adriano Sampaio e; CARVALHO, Paulo Simeão. Utilização de sensores no ensino das ciências. **Gazeta de Física**, Porto, v. 34, n. 3/4, p.40-45, 1 jan. 2011.

TERUEL, Bárbara J. **Controle automatizado de casas de vegetação:** Variáveis climáticas e fertigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 14, n. 3, 2010.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors.** Dallas. 2017. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso em: 10 jun 2019.

THINGSPEAK. **Learn More About ThingSpeak**, 2020. Disponível em: https://thingspeak.com/pages/learn_more. Acesso em: 28 jun. 2020.

VISCHI FILHO, OSWALDO Julio. **Avaliação de casas de vegetação para fins quarentenários de flores, com diferentes graus de automação**. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257293/1/VischiFilho_OswaldoJulio_M.pdf. Acesso em: 10 jun 2019.

WENDLING, M. (2010) **Sensores**. São Paulo: UNESP.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CONEXÕES DOS PINOS DIGITAIS E ANALÓGICOS NA PLACA WEMOS D1 R2

Para fazer uso dos pinos TX e RX como portas digitais, é necessário não utilizar o comando *Serial.begin*, responsável pela comunicação serial da placa com o computador. As portas TX e RX devem também estar desconectadas durante o *upload* do código. A tabela 9 demonstra quais pinos da placa foram utilizados e a qual dispositivo foi conectado.

Tabela 9 – Relação dos pinos e dispositivos conectados.

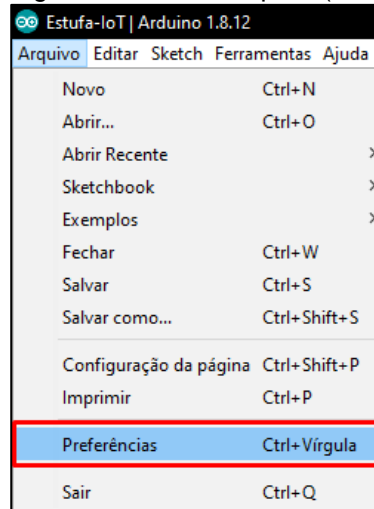
Identificador na IDE	Wemos D1 R2	Dispositivo conectado
0	D3	DHT22 interno
1	TX	Relé umidificador
2	D4	DHT22 externo
3	RX	Relé cooler traseiro
4	D2	N/A
5	D1	N/A
12	D6	Relé lâmpada
13	D7	Relé cooler frontal
14	D5	Relé bomba d'água
15	D8	N/A
16	D0	Sensor LDR
A0	A0	FC-28

Fonte: do Autor.

APÊNDICE B – CONFIGURAÇÃO DA IDE ARDUINO PARA PROGRAMAÇÃO DA PLACA WEMOS D1 R2 (ESP8266)

Primeiramente deve-se acessar o menu Arquivo e então abrir a janela de Preferências (figura 33).

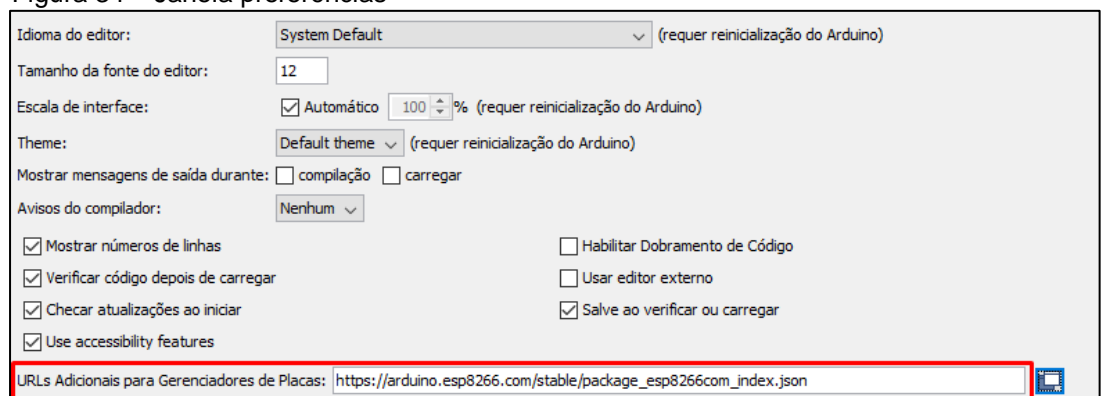
Figura 33 – Menu arquivo (Arduino IDE)



Fonte: Do autor.

Na janela de preferências (figura 34) é necessário digitar no campo URLs Adicionais para Gerenciamento de Placas o seguinte endereço: https://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json.

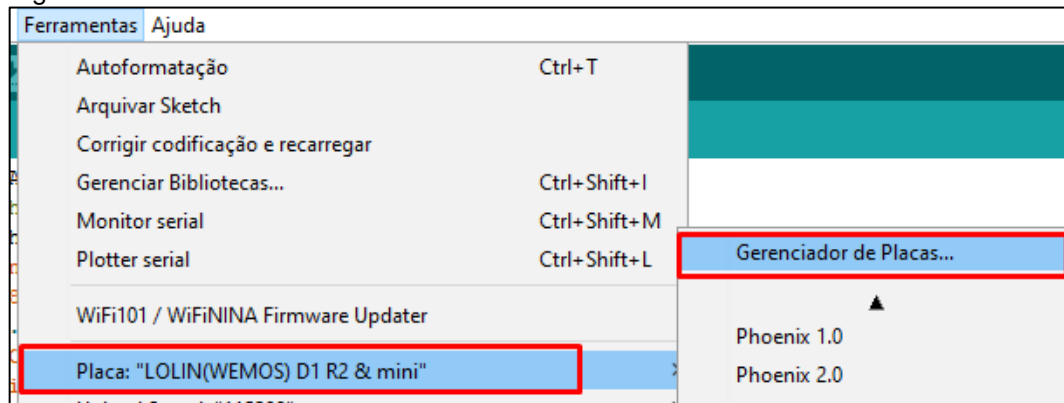
Figura 34 – Janela preferências



Fonte: Do autor.

Após essa etapa, é preciso fazer o download dos pacotes de dados do esp8266, para isso, é preciso abrir a janela Gerenciador de Placas, localizada na aba Ferramentas (figura 35).

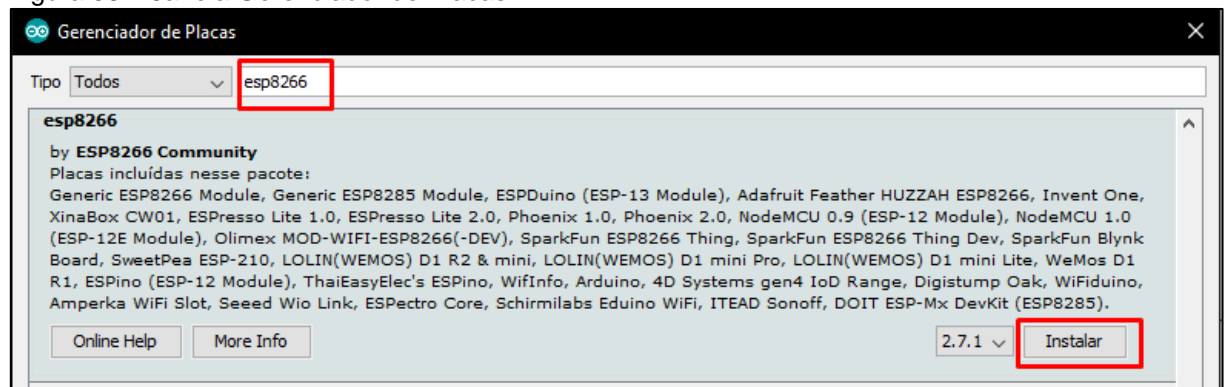
Figura 35 – Aba Ferramentas



Fonte: Do autor.

Na janela Gerenciador de Placas (figura 36), pesquisa-se por “esp8266” e então efetua-se a instalação dos arquivos.

Figura 36 – Janela Gerenciador de Placas



Fonte: Do autor.

Finalizando a configuração, é selecionada a placa que receberá o código da programação, que neste caso é a Wemos D1 R2, na aba Ferramentas. Desta forma, o ambiente está configurado para ser programado e compilado para a placa Wemos D1 R2.

APÊNDICE C – ARTIGO

ESTUDO DE UM PROTÓTIPO PARA CONTROLE E MONITORAMENTO EM UMA ESTUFA DE HORTALIÇAS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS E O MICROCONTROLADOR ESP8266

Prof. Esp. Sérgio Coral¹, Bernardo Schmitz dos Santos¹

¹Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)
CEP 88806-000 – Criciúma – SC – Brasil

sergiocoral@unesc.net, bernardo_schmitz@unesc.net

Abstract. *The agricultural sector is one of the most economically important activities in a country, being considered a source of income and employment for thousands of workers. In this broad sector, the cultivation of vegetables in a protected environment is still little practiced in Brazil, given among other factors, the high investment costs and implementation of this production system. Considering this market demand and the exponential growth of the Internet of Things, this work presents the development of a prototype of a greenhouse for the cultivation of vegetables, in an automated way and connected to the Internet. This project aims to reduce the main problems encountered in the production of vegetables, providing, through the elaborated prototype, an environment with favorable and controlled conditions for greater productivity in the cultivation of vegetables.*

Resumo. *O setor agrícola é uma das atividades de maior importância econômica em um país, sendo considerado fonte de renda e emprego para milhares de trabalhadores. Neste amplo setor, o cultivo de hortaliças em ambiente protegido ainda é pouco praticado no Brasil, dado entre outros fatores, aos altos custos de investimento e implantação desse sistema de produção. Considerando essa demanda de mercado e o crescimento exponencial da Internet das Coisas, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma estufa para o cultivo de hortaliças, de forma automatizada e conectada à Internet. Este projeto tem como objetivo reduzir os principais problemas encontrados na produção de hortaliças, proporcionando, por meio do protótipo elaborado, um ambiente com condições propícias e controladas para uma maior produtividade no cultivo de hortaliças.*

1. Introdução

No Brasil, a produção de hortaliças é uma área do setor agrícola que está em constante crescimento. De acordo com os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017), em 2017, o país produziu aproximadamente 17,9 milhões de toneladas de diversas espécies de hortaliças, montante equivalente a uma área de 752 mil hectares.

Por tratarem-se de culturas sensíveis, as hortaliças são plantas que dependem de um ambiente altamente favorável ao seu desenvolvimento, portanto, mantê-las em condições ambientais favoráveis, bem como longe de infestações de pragas e doenças, são fatores essenciais para o desenvolvimento saudável destes cultivos (RODRIGUES, 2015).

Neste contexto, observa-se a importância de identificar e eliminar as deficiências no processo de produção de hortaliças. Entre os principais problemas a serem enfrentados, menciona-se a baixa produtividade dos atuais sistemas de cultivo, os elevados riscos e custos de produção e a pouca ou ineficaz utilização de tecnologia.

Os sistemas de cultivo em ambiente protegido, como em uma estufa, podem ser considerados formas de contornar tais problemas. A partir da leitura de sensores é possível obter dados e traduzi-los em ações de decisão. Isso torna-se possível por meio da ampla oferta de equipamentos disponíveis no mercado, que em conjunto são capazes de formar um esquema de controle automatizado, economizando tempo e recursos aos produtores (LOUREIRO et. al., 2018).

Dentro desta perspectiva, este trabalho abordou temas relacionados a utilização de microcontroladores, o cultivo de hortaliças em ambiente protegido, bem como o desenvolvimento de um protótipo para controle e monitoramento de uma estufa agrícola. O objetivo do trabalho foi desenvolver um protótipo de uma estufa inteligente e autônoma, e ao fim, comparar os cultivos dentro e fora do protótipo, por meio dos testes e dados coletados durante o processo de plantio.

2. Justificativa

No Brasil, a produção e o consumo de hortaliças enfrentam diversos problemas, seja por falta de investimentos em pesquisas e tecnologias na área, quanto pela baixa taxa de consumo, devido entre outros fatores ao alto valor das hortaliças no mercado. De acordo com os dados da Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM, 2020) o consumo diário de hortaliças entre cada brasileiro é de cerca de 130 gramas, sendo três vezes menor que o recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) que indica a quantidade ideal em aproximadamente 400 gramas por dia.

Entre os problemas comumente encontrados na produção de hortaliças, estão as próprias condições climáticas da qual uma planta é exposta. Elevadas temperaturas, excesso e escassez de chuvas, ventos fortes, entre outros fatores, são adversidades enfrentadas pelos produtores todos os anos (SILVA et. al., 2014).

Todavia, tais problemas podem ser reduzidos por meio da adoção do sistema em cultivo protegido. Nesse tipo de ambiente é possível controlar algumas variáveis climáticas como temperatura, umidade do ar, radiação solar e vento, proporcionando assim, condições adequadas para uma melhor produção de plantas (SILVA et. al., 2014).

Utilizando-se dos dispositivos microcontroladores, tal como sua gama de sensores e extensões de hardware aliado aos conceitos da IoT, é possível criar não somente um projeto que emprega tecnologia, mas também conectado, inteligente e relativamente de baixo custo.

Neste contexto, este projeto tem como propósito principal reduzir os problemas encontrados no cultivo de hortaliças, propondo uma solução para que estas sejam cultivadas em condições propícias, transformando procedimentos antes manuais em automáticos e inteligentes.

3. Desenvolvimento do protótipo físico

Este trabalho foi dividido em duas etapas principais, a primeira refere-se a montagem do protótipo físico e a instalação do hardware, e a outra compreende o software, que aborda sobre a programação dos sensores e atuadores, além da conexão com a internet e a aplicação web de controle e monitoramento.

Para a confecção do protótipo, buscou-se utilizar materiais de fácil acesso, reciclados ou de custo relativamente baixo, desconsiderando dispositivos que não compactuam com a proposta do projeto.

Em um primeiro momento, foi elaborado um rascunho simples do protótipo em uma folha A4, para que fosse possível ter uma visão geral da estrutura da estufa com todos os dispositivos instalados, assim optou-se pelo modelo de estufa com teto em arco, adaptada para instalação de ventiladores.

A estrutura da estufa foi montada com pedaços de madeira de pinus para os pés e laterais, a parte frontal e traseira foi confeccionada em MDF, e o teto em arco foi composto por arames de ferro em formato semicircular, além do revestimento em lona.

Os materiais como as peças de madeira e ferro e os espaços para instalação das ventoinhas foram feitos com a utilização de ferramentas de corte e furadeiras, utilizou-se ainda de uma fita isolante e fitas de nylon para posterior fixação de cabos e fios, além de percevejos, que foram usados para fixar a lona plástica que cobre a estufa.

Com a parte estrutural pronta, foram então instalados todos os componentes de hardware que fazem parte do protótipo final.

3.1. Arquitetura de hardware

Para a montagem de hardware da estufa (figura 1) foram utilizados os seguintes componentes; uma placa microcontroladora Wemos D1, dois sensores de umidade e temperatura do ar, um sensor de umidade do solo, um sensor de luminosidade, um módulo relé de quatro canais e outro de dois canais, duas três fontes de alimentação, sendo de 12v e uma de 5v, três ventoinhas, uma lâmpada fluorescente e uma bomba d'água, além dos cabos e conexões.

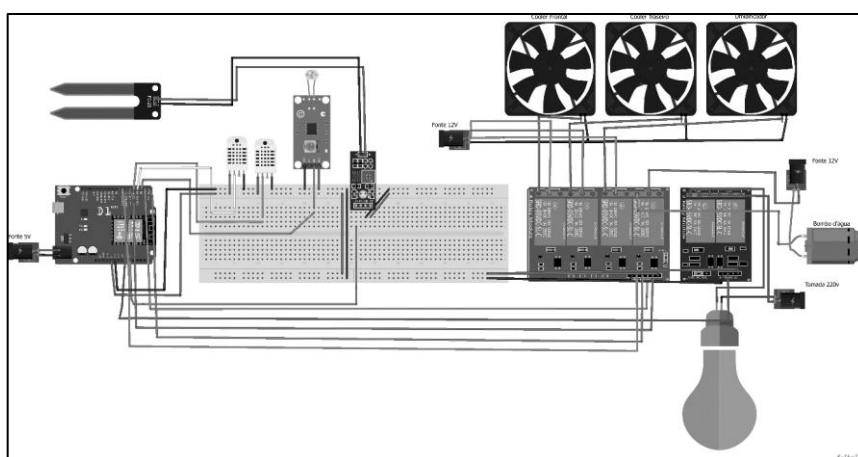


Figura 1. Arquitetura de hardware do protótipo

Quando ligado, o protótipo efetua as devidas configurações iniciais e então carrega os últimos parâmetros inseridos na memória flash do microcontrolador, posteriormente tenta-se a conexão com a Internet. Após conectado o programa entra em um loop de programação, na qual obtém os dados dos sensores e verifica se algum valor necessita de correção, para então acionar o atuador correspondente e por fim enviar os dados atuais a plataforma web.

3.2. Testes pré-cultivo

Nesta etapa foram realizados uma série de testes no protótipo a fim de garantir que os sensores e atuadores estivessem funcionando da maneira correta. Além disso, utilizou-se de outros dispositivos para compor o protótipo, entretanto por terem apresentado um funcionamento não satisfatório foram descartados da versão final do projeto.

De acordo com a fabricante o sensor de temperatura e umidade do ar já são calibrados e prontos para uso. Para comprovar o seu funcionamento, os mesmos foram expostos a diferentes temperaturas e ambientes, tendo apresentado valores compatíveis com a realidade, eles puderam ser utilizados. Já os sensores de umidade do solo e de luminosidade foram ajustados manualmente por meio da faixa de valores e pelo potenciômetro no caso do sensor de luz.

3.2.1 Testes de umidade do solo

Para mensurar a umidade do solo, foram realizados testes em diferentes ambientes (tabela 1), com o objetivo de obter uma faixa de valores padrão para uma determinada situação.

Tabela 2. Valores de umidade do solo em diferentes ambientes

Valor lido	Ambiente
Acima de 1000ma	No ar
Entre 1000 e 800ma	No vaso com terra seca
Abaixo de 800 e maior que 500ma	No vaso com terra moderadamente úmida
Abaixo de 500ma	No vaso com terra úmida
Abaixo de 350ma	Imerso em água

Com os dados obtidos dentro de uma faixa de valores padronizada, foi possível identificar com certa precisão o nível de umidade do solo em diferentes situações.

3.2.2 Teste de controle de temperatura

Visto que em dias de calor intenso o interior da estufa alcançava elevadas temperaturas foi elaborado um método de resfriamento com o uso de uma pastilha de Peltier, dois dissipadores e duas ventoinhas.

Entretanto esse método de controle apresentou pouca diferença na temperatura do ambiente, desta forma, ao final dos testes foi optado apenas por utilizar o sistema de ventoinhas.

3.2.3 Display LCD

A ideia inicial do protótipo continha um display de LCD na parte frontal da estufa, que permitiria a visualização dos dados de forma offline, porém seu uso junto a outros dispositivos

por vezes causava interferências nas mensagens apresentadas em tela, por este motivo optou-se por não o utilizar no protótipo final.

3.2.2 Lâmpada Led Grow 28v

Na pesquisa por iluminação artificial para produção de plantas, encontrou-se uma lâmpada composta por diversos pequenos LEDs de diferentes cores, que tem como função estimular todas as fases de crescimento das plantas. Entretanto, após alguns dias de sua utilização notou-se um ressecamento nas pontas das folhas de alface.

Dado este fato, optou-se por utilizar uma lâmpada fluorescente de menor potência, visto que o protótipo construído tem tamanho reduzido e a potência da lâmpada pode não ser compatível com a estrutura montada.

3.4. Desenvolvimento da aplicação Web

Com o ambiente físico pronto e os testes do protótipo já concluídos, foram então elaborados os esboços da tela inicial da aplicação web, utilizando-se dos conceitos de design responsivo.

A partir da criação das telas teve-se uma visão melhor sobre quais seriam as variáveis controladas pelo usuário bem como as disposições dos elementos em tela como o menu principal, os campos de input (entrada), botões e ícones.

A programação front-end das páginas web foram desenvolvidas por meio do software Visual Studio Code na versão 1.46.1. A implementação desses códigos foi posteriormente transferida para o Arduino IDE, no qual é compilado e então carregado para a placa microcontroladora.

Para programação do hardware controlado pela placa microcontrolada utilizou-se o software Arduino IDE na versão 1.8.12, com as bibliotecas compatíveis com os sensores e atuadores utilizados no projeto. Para tal foi necessário configurar a IDE, para que a mesma reconhecesse a placa Wemos, o chip ESP8266 e as bibliotecas utilizadas.

3.4.1 Controle de luminosidade

Composto por uma lâmpada fluorescente conectada a um módulo relé e um sensor LDR, o controle de luminosidade funciona por meio de dois parâmetros, as horas em que deve permanecer ligado, definidas pelo usuário por meio da página web, e pela detecção ou não de luz no sensor. A lâmpada da estufa só permanecerá acessa quando não é detectado nenhuma fonte de luz externa e a hora atual deve estar entre as horas definidas na aplicação web.

3.4.2 Controle de temperatura e umidade do ar

Seu funcionamento baseia-se nos dois sensores de temperatura e umidade do ar junto as ventoinhas instaladas na parte frontal e traseira da estufa, conectados aos seus respectivos relés.

Para diminuir a temperatura no interior da estufa é necessário que as condições externas sejam propícias, quando a temperatura é maior que a permitida e o umidificador de ar encontra-se desligado as duas ventoinhas são automaticamente ligadas.

Para diminuir a umidade, a ventoinha traseira é acionada de forma isolada, retirando o ar úmido de dentro da estufa. Já para aumentar a porcentagem de umidade no interior da estufa é acionado

o umidificador de ar caseiro, este processo tem prioridade sobre os demais, quando acionado todos os outros são desligados.

3.4.3 Controle de umidade do solo

O controle da umidade do solo é feito por meio do processo de irrigação, que funciona com base na leitura do sensor resistivo de umidade do solo, enquanto o sistema detecta que a umidade do solo se encontra em nível seco, inicia-se o processo de irrigação, ligando a bomba d'água.

A irrigação acontece por gotejamento, a bomba-d'água conduz a água do reservatório para a mangueira, que irriga a planta por pequenos furos, devolvendo o restante da água para o reservatório. Este processo leva cerca de 30 segundos para ser concluído e pode ser repetido num intervalo de 5 minutos, caso ainda seja necessário irrigar a planta.

3.5 Página de controle e monitoramento

Por meio da página de controle, o usuário pode consultar e inserir novos parâmetros referentes a temperatura e umidade mínima e máxima, além das horas em que o controle de luminosidade deve permanecer ligado ou desligado.

Quando aceitos, os novos parâmetros são enviados imediatamente a placa microcontroladora, que salva os dados permanentemente em sua memória flash, desta forma é possível reiniciar o *software* sem precisar configurá-lo novamente.

A página de monitoramento busca em um intervalo de cinco segundos novas leituras das variáveis e as apresenta em tela. Além disso, por meio dessa página é possível saber quais atuadores estão em funcionamento, e quanto tempo falta até seja realizada uma nova tentativa de irrigação e o envio de dados para a plataforma em nuvem.

3.6 Thingspeak

O Thingspeak é uma plataforma de IoT de código aberto que foi lançada em 2010 pela ioBridge como um serviço de suporte para aplicativos de IoT. A plataforma oferece funções de análise que permitem agregar, visualizar e acompanhar fluxos de dados em tempo real na nuvem (THINGSPEAK, 2020, tradução nossa).

Por meio da plataforma criou-se um canal denominado Estufa IoT que ficou responsável por receber os dados lidos pelos sensores e armazená-los num intervalo de cerca de um minuto.

Para que seja possível o envio de dados, a plataforma Thingspeak disponibiliza um conjunto de rotinas e padrões, por meio de uma Interface de Programação de Aplicativos, do inglês *Application Programming Interface* (API) de escrita e leitura, além de uma biblioteca com funções prontas e compatíveis com a Arduino IDE. para a realização deste procedimento foi necessário apenas identificar o ID no canal e a chave de escrita usada para o envio de dados e acesso ao canal.

4. Resultados

Com a definição dos parâmetros comparativos e a realização do cultivo dentro e fora do protótipo foi possível realizar a coleta de resultados e obter também uma análise sobre os custos do projeto comparando-o a outros trabalhos correlatos.

A planta escolhida para o cultivo foi a *Lactuca sativa*, popularmente conhecida como alface, em específico a alface da variedade crespa. O cultivo foi adquirido de um produtor da região, assim como os insumos para o seu plantio.

As alfaces foram postas em vasos, sendo mudas já em fase de crescimento, e então foram observadas e cultivadas por um período de um mês, na figura 2 tem-se a comparação dos cultivos dentro (a) e fora da estufa (b).

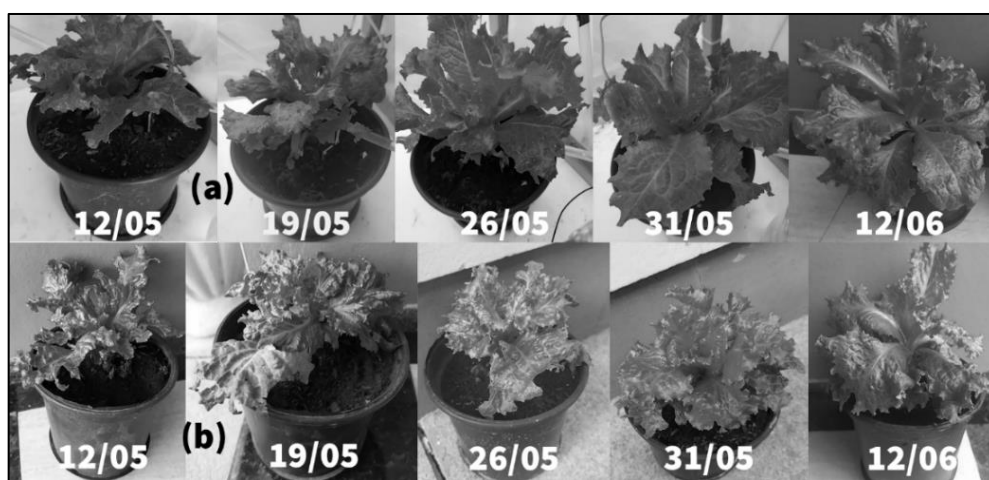


Figura 2. Comparação do crescimento dos cultivos

Salienta-se que durante o período de cultivo a estufa ficou a maior parte do tempo em local sombreado, o que pode ter favorecido para uma baixa temperatura externa. Observa-se ainda, que ao final do plantio os cultivos apresentaram algumas características distintas. A alface plantada no interior da estufa possui menos folhas, mas maiores e mais largas, enquanto a alface cultivada do lado de fora da estufa apresentou um tamanho menor e folhas mais murchas.

Os dados coletados foram armazenados em planilhas do software Microsoft Excel versão 2013 para posterior análise no software IBM Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 21.0. Os resultados foram expressos por meio de média e desvio padrão.

As análises inferenciais foram realizadas com nível de significância $\alpha = 0,05$ e, portanto, confiança de 95%. A distribuição da temperatura e da umidade foram avaliadas quanto à normalidade por meio da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov. A comparação das médias de temperatura e umidade interna e externa à estufa (tabela 2) foram realizadas por meio da aplicação do teste U de Mann-Whitney.

Tabela 2 – Parâmetros avaliados interna e externamente em relação à estufa.

	Média \pm DP		Valor-p
	Interna	Externa	
Temperatura (°C)	17,94 \pm 4,28	18,25 \pm 4,76	<0,001
Umidade (%)	75,18 \pm 10,92	68,37 \pm 14,11	<0,001

A temperatura foi em média menor dentro da estufa, já a umidade relativa do ar foi em média maior dentro da estufa. Ambas inferências foram consideradas estatisticamente significativas ($p < 0,001$).

A utilização da plataforma Thingspeak foi fundamental para o armazenamento de dados e acompanhamento da leitura dos sensores em tempo real, com isto, foi possível perceber falhas e alterações bruscas nas variáveis controladas e assim ganhar tempo para possíveis correções e alterações no protótipo.

Com o acionamento do umidificador como parte de um teste de eficácia, pode-se notar um aumento em cerca de 20% no intervalo de pouco menos de 5 minutos de funcionamento, como mostra o gráfico da figura 3.

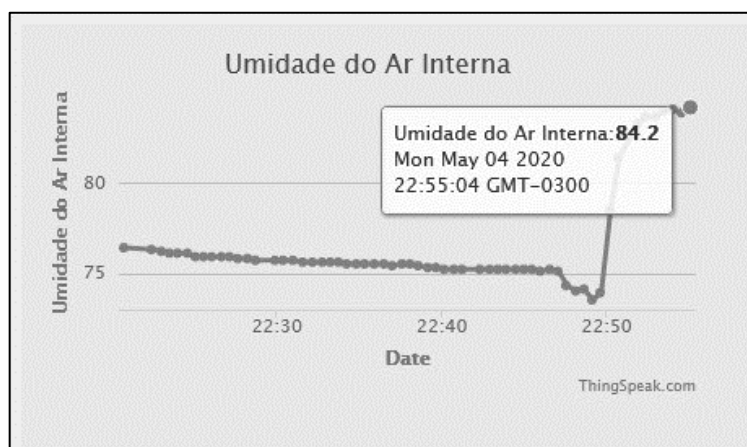


Figura 3. Aumento da umidade relativa do ar

Deste modo, entende-se que a criação de um umidificador de ar caseiro para o aumento da umidade no interior da estufa, provou-se uma solução eficaz, visto a rápida elevação da umidade, porém em dias de calor intenso é possível que o mesmo não atinja a umidade ideal, dado que sua taxa de aumento seja de cerca de 20%.

Outro ponto positivo do projeto, foi a capacidade em manter a umidade do solo constantemente úmida, já que o mesmo é irrigado assim que detectado o estado de umidade seco, de acordo com a faixa de valores da tabela 1, favorecendo então o crescimento de forma constante do cultivo.

Apesar de o protótipo responder de forma satisfatória, durante o período de cultivo surgiram alguns problemas com relação a parte elétrica do protótipo, sendo preciso realizar pequenas manutenções e pausas no seu funcionamento. Outros problemas incluem a corrosão do sensor de umidade do solo, que no decorrer do tempo pode alterar a precisão dos valores lidos, o acúmulo de poeira nas ventoinhas e na lona plástica, necessitando de manutenção semanal e a dificuldade de controlar os parâmetros em dias de condições atípicas da natureza.

4.1 Custos do projeto

Para uma avaliação sobre os custos do projeto, formulou-se uma lista (tabela 3) com todos os componentes presentes na versão final do protótipo. Tais materiais foram adquiridos em sua maioria por meio da internet e outros em lojas de varejo na cidade de Jaguaruna nos anos de 2019 e 2020.

Tabela 3 – Lista de componentes x preço.

Componente	Preço (R\$)
Wemos D1 R2	58,90
Sensor de umidade do solo FC-28	9,90
Sensor de Luz (LDR)	7,90
2x Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22	51,98
Kit bomba-d'água + mangueira + fonte 12V	59,29
Lâmpada fluorescente	12,50
Fonte 5V	14,99
Fonte 12V	14,99
Filtro de linha 5 tomadas	20,00
Protoboard 830 furos	16,90
100x abraçadeiras de nylon	10,15
100x percevejos latonados	1,90
40x jumpers macho-macho	8,40
40x jumpers macho-fêmea	9,90
Módulo relé 4 canais	21,90
Módulo relé 2 canais	12,90
1x fita isolante	4,90
Outros custos (frete, ferramentas e matérias-primas)	100,00
Total	437,40

Ao final da avaliação constatou-se que o custo total do projeto ficou dentro da proposta de baixo custo, tendo em média uma redução de cerca de 22% a menos quando comparado a trabalhos correlatos. Devido ao fato deste trabalho utilizar materiais reciclados e ter adquirido os cultivos e insumos do plantio de forma gratuita, é possível concluir que houve uma considerável redução de custos nesta etapa.

5. Conclusão

Neste trabalho apresentou-se o processo de desenvolvimento de um protótipo para o controle e monitoramento aplicado em uma estufa de hortaliças utilizando a placa microcontroladora Wemos D1 e uma extensão de componentes de hardware e software.

Inicialmente o projeto passou por uma fase de testes em diferentes ambientes e condições, a fim de checar o funcionamento completo do protótipo, descartando algumas ideias e dispositivos que não obtiveram um funcionamento de forma satisfatória ou ideal. Após essa etapa, com as implementações de software, e a estrutura final pronta, o protótipo entrou em fase prática, permanecendo em funcionamento por praticamente um mês sem grandes interrupções.

O protótipo desenvolvido, bem como a aplicação web funcionaram na medida do que era esperado, tendo em vista a proposta inicial do projeto, bem como o custo financeiro para sua elaboração, assim é possível afirmar que o trabalho teve seus objetivos propostos concluídos de forma satisfatória. O protótipo final apresentou um custo dentro da proposta e menor que os apresentados nos trabalhos correlatos, provando-se rentável e plausível dentro da realidade abordada.

Observou-se também que o protótipo atendeu o propósito de ser um objeto de IoT capaz de armazenar e processar dados além de funcionar de forma autônoma, uma vez que tenha sido configurado uma única vez.

Dentre as dificuldades encontradas, menciona-se a manipulação de dispositivos físicos e esquemas elétricos, que sua vez podem apresentar problemas e erros ocultos do ponto de vista e conhecimento técnico do autor.

Com base nos recursos utilizados neste projeto, dado também sua versatilidade de uso e aplicações, propõe-se que trabalhos futuros possam utilizar algumas das tecnologias aqui apresentadas para criação de protótipos de controle e monitoramento específicos para um determinado parâmetro, desta forma é possível investir em recursos e equipamentos melhores, já que por vezes a qualidade do produto está diretamente relacionada ao seu custo.

Entre as melhorias futuras sugeridas para este protótipo, cita-se a criação de um processo de resfriamento e aquecimento adequado com as pastilhas de Peltier, a possibilidade do acionamento ou controle manual dos parâmetros e a utilização de um banco de dados para o cadastro de parâmetros pré-definidos.

Referências

- ABCSEM. **ABCSEM - Campanha para incentivar aumento do consumo de hortaliças no país - Projeto Alimentação + Salada. 2020.** Disponível em: <https://www.abcsem.com.br/noticias/3367/abcsem-campanha-para-incentivar-aumento-do-consumo-de-hortalicas-no-pais-projeto-alimentacao-salada>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- IBGE, **Censo agropecuário 2017: Horticultura** (Número de estabelecimentos agropecuários e Quantidade produzida, por produtos da horticultura - resultados preliminares 2017). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6619> Acesso em: 07 abr. 2019.
- LOUREIRO, José Felipe et al. **Automação de estufa agrícola integrando hardware livre e controle remoto pela internet.** Revista de Computação Aplicada ao Agronegócio, v. 1, n. 1, p. 38-55, 2018.
- RODRIGUES, Paula. **Agricultura protegida: cooperação prevê avanços tecnológicos no cultivo protegido de hortaliças.** Hortaliças em Revista. EMBRAPA HORTALIÇAS. Ano IV, nº 17, set-2015.
- SILVA, B. A.; SILVA, AR da; PAGIUCA, L. G. **Cultivo protegido: em busca de mais eficiência produtiva.** Hortifruti Brasil, v. 1, p. 10-18, 2014. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat_capa.pdf Acesso em: 8 de setembro de 2018.
- THINGSPEAK. **Learn More About ThingSpeak,** 2020. Disponível em: https://thingspeak.com/pages/learn_more. Acesso em: 28 jun. 2020.